

UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



Fornecimento sedimentar por bacias de pequena dimensão

Aplicação ao arco Caparica-Espichel

João Francisco Filipe Dias

Dissertação

**Mestrado em Geologia do Ambiente,
Riscos Geológicos e Ordenamento do Território**

2015

UNIVERSIDADE DE LISBOA

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



Fornecimento sedimentar por bacias de pequena dimensão

Aplicação ao arco Caparica-Espichel

João Francisco Filipe Dias

Dissertação

Orientada pelo Professor Doutor Rui Pires de Matos Taborda

**Mestrado em Geologia do Ambiente,
Riscos Geológicos e Ordenamento do Território**

2015

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a todos os que me ajudaram sempre que necessitava de tirar alguma dúvida ou precisava de bibliografia, bem como a todos os que me acompanharam e ajudaram nas duras, mas espetaculares, saídas de campo, nomeadamente ao professor Rui Taborda, à Ana Bastos, à Mafalda Carapuço, ao professor João Calvão, ao professor César Andrade, à Cristina Lira, à Mónica Ribeiro e à Zenaida Diogo.

Um muito obrigado aos meus pais, especialmente à minha mãe, Ana Maria, por me ter sempre apoiado e acompanhado em todos os momentos difíceis.

Agradeço ao Carlos Miguel e à Teresa Miguel, pela ajuda prestada ao longo de todo o mestrado. Obrigado ao Luís Reis, por me ter ajudado a ter mais calma.

Um especial obrigado à Catarina, por estar sempre ao meu lado e ajuda constante.

RESUMO

O conhecimento da evolução de um sistema de praia, depende da definição do balanço sedimentar costeiro, assumindo a quantificação do fornecimento sedimentar, um papel determinante. No entanto, se os métodos de quantificação, associados a sistemas fluviais com rede de drenagem desenvolvida, já se encontram razoavelmente definidos, os métodos de quantificação sobre os sistemas de pequena dimensão, com uma rede de drenagem incipiente, ainda se encontram numa fase embrionária.

O objetivo principal deste trabalho consistiu no estudo e avaliação do fornecimento sedimentar ao litoral por bacias de pequena dimensão. As bacias que constituem o objeto de estudo consistem no sistema de drenagem incipiente, desenvolvido nas arribas e vertentes costeiras de natureza arenosa do arco Caparica-Espichel.

A quantificação do fornecimento sedimentar baseou-se em duas metodologias: a) observações de campo - foram efetuadas as seguintes observações: análise da evolução topográfica das arribas e vertentes costeiras, com recurso a LiDAR terrestre; estudo de leques de dejeção existentes no sopé da arriba; avaliação do sedimento acumulado numa estrutura de retenção a qual foi construída no âmbito deste trabalho; b) modelação empírica - foram utilizadas as aproximações de Langbein e Schumm, Teixeira e Andrade e RUSLE.

Os resultados obtidos para erosão específica neste estudo foram os seguintes: o valor experimental efetivo, determinado para a pequena bacia com barragem de sedimentos, foi de $1.89 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$. Os valores obtidos pelos modelos empíricos aplicados às bacias de pequena dimensão, variaram entre $0.47 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ a $1.78 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$. De acordo com a validação efetuada, o modelo RUSLE é o que melhor se aplica ao estudo de bacias de pequena dimensão. Com base nos resultados obtidos, concluímos que a contribuição do fornecimento sedimentar ao litoral pelas bacias de pequena dimensão nas arribas e vertentes costeiras de natureza arenosa do arco Caparica-Espichel para o balanço sedimentar desta área foi estimado em $4.5 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ a $13.5 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$.

Palavras – chave: fornecimento; sedimentar; bacias; LiDAR; modelos; balanço; Caparica-Espichel.

ABSTRACT

The knowledge on the evolution of a beach system depends on the definition of the costal sedimentary balance, where the quantification of the source of sediment assumes an important role. However, while the methods of quantification associated to watersheds with developed drainage are fairly well described, the quantification methods applied to small systems, with incipient drainage system, are still at an initial stage.

The aim of this study is to determine the sediment supply from small watersheds to the coast. The study focuses on an incipient system that develops on the sandy cliffs and hillsides of the Caparica – Espichel littoral arc.

The source of sediment quantification was based on two methodologies: a) field observations –the following observations were made: topographic evolution analysis of the cliffs and hillsides, through the use of Terrestrial LiDAR; study of cliff base deposits; evaluation of the source of sediment collected on a retention structure constructed in the scope of this work; b) Empirical modelling - the following approaches were used: Langbein & Schumm, Teixeira & Andrade, and RUSLE.

The results obtained for the measure of specific erosion are as follows: the experimental effective value determined for the small watershed with the sediment retention structure, was $1.89 \text{ kg m}^{-2} \text{ year}^{-1}$. The obtained values using the empirical models varied between $0.47 \text{ kg m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ and $1.78 \text{ kg m}^{-2} \text{ year}^{-1}$. According to the validation, RUSLE is the more accurate model to be applied to the study of small watersheds.

Based on the results obtained, sediment supply from the small watersheds contributing to the sedimentary balance of the coastal stretch Caparica – Espichel, was estimated between $4.5 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$ and $13.5 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$.

Keywords: source; sedimentary; watershed; LiDAR; models; balance; Caparica-Espichel;

SIMBOLOGIA E NOTAÇÕES

ARS - *Agricultural Research Service* (Serviço Agrícola de pesquisa)

DGPS - *Differential Global Positioning System* (GPS em modo diferencial)

ETRS - *European Terrestrial Reference System* (Sistema de referência terrestre Europeu)

EUROSEM - *European Soil Erosion Model* (Modelo Europeu de Erosão do Solo)

INAG - Instituto Nacional da Água

IGEOE - Instituto Geográfico do Exército

IGP - Instituto Geográfico Português - (LiDAR de Absorção Diferencial)

LAS – *Laser LiDAR Exchange Format* (Formato de ficheiros LiDAR)

LiDAR - *Light Detection and Ranging* (Detecção e Telemetria por Radiação)

LS - *Laser Scanner* (Scanner a laser)

RTK - *Real Time Kinematic* (Tempo Real Cinemático)

RUSLE - *Revised Universal Soil Loss Erosion* (Revisão da equação Universal de Perda dos Solos)

SDR - *Sedimentary delivery ratio* (Coeficiente de fornecimento sedimentar)

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SNIRH- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

TOF - *Time of flight* (Tempo de voo)

TM06- *Transverse Mercator Projection 2006* (Transversa de Mercator, 2006)

WEPP - *Water Erosion Prediction Project* (Projeto de Previsão da Erosão Hídrica)

USLE - *Universal Soil Loss Erosion* (Equação Universal de Perda dos Solos)

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	II
ABSTRACT	III
SIMBOLOGIA E NOTAÇÕES	IV
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABELAS	IX
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2. ESTADO DA ARTE	3
2.1. MODELOS EMPÍRICOS DE EROÇÃO ESPECÍFICA	3
2.1.1. LANGBEIN & SCHUMM	3
2.1.2. TEIXEIRA & ANDRADE	5
2.1.3. RUSLE	6
2.1.4. WATER EROSION PREDICTION PROJECT	8
2.2. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA	8
CAPÍTULO 3. ÁREA DE ESTUDO	10
3.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO	10
3.2. GEOMORFOLOGIA	11
3.3. GEOLOGIA	15
3.4. CLIMA	17
CAPÍTULO 4. MÉTODOS	18

4.1. COMPILAÇÃO DE INFORMAÇÃO	18
4.1.1 MODELOS EMPÍRICOS	18
4.1.2 LIDAR AEROTRANSPORTADO – COSTA PORTUGUESA	20
4.2. AQUISIÇÃO DE DADOS E PROCESSAMENTO	20
4.2.1. LIDAR TERRESTRE	21
4.2.2. DGPS	28
4.2.3. RECONHECIMENTO FOTOGRÁFICO	30
4.2.4. AMOSTRAGEM SEDIMENTAR	30
4.2.5. DEPÓSITOS DE SOPÉ	31
4.2.6. ESTRUTURA DE RETENÇÃO DE SEDIMENTOS	31
4.2.7. SOFTWARE UTILIZADO	33

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

5.1. FORNECIMENTO SEDIMENTAR POR MODELOS EMPÍRICOS	34
5.1.1. LANGBEIN & SCHUMM	34
5.1.2. TEIXEIRA & ANDRADE	35
5.1.3. RUSLE	35
5.2. EVOLUÇÃO TOPOGRÁFICA COM LIDAR TERRESTRE	36
5.3. FORNECIMENTO SEDIMENTAR ATRAVÉS DE MÉTODOS DIRETOS	40
5.3.1. AVALIAÇÃO DA TAXA DE TRANSPORTE SEDIMENTAR EM DEPÓSITOS DE SOPÉ	40
5.3.2. DETERMINAÇÃO DO VOLUME SEDIMENTAR ATRAVÉS DA ESTRUTURA DE RETENÇÃO	42
5.4 SÍNTESE DE RESULTADOS	44

CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES

CAPÍTULO 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ANEXO A. OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES	54
ANEXO B. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO	61
ANEXO C. CAMPANHAS DE CAMPO	62
ANEXO D. EQUIPAMENTOS DE LEVANTAMENTO TERRESTRE	63
ANEXO E. PARAMETRIZAÇÃO DOS VALORES RUSLE	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gráficos relativos à metodologia de Langbein & Schumm, extraídos de Komar (1976).	4
Figura 2. Lidar aerotransportado (extraído de http://www.comunidadism.es/ ; fonte: http://dielmo.com/ e LiDAR terrestre.....	9
Figura 3. Enquadramento da área de estudo.....	10
Figura 4. Representação esquemática dos principais processos associados ao recuo de arribas costeiras (Sunamura, 1983; 1992, extraído de Arnott, 2009).....	12
Figura 5. Carta de declive do troço costeiro estudado. Dados geográficos de base INAG & IGP, 2011.	14
Figura 6. Fornecimento sedimentar para as praias.	14
Figura 7. Levantamento geológico extraído de Marques et al. (2013) (polígonos). Amostras recolhidas em campo (círculos).	15
Figura 8. Determinação por correlação empírica do SDR a partir da área da bacia estudada.	19
Figura 9. Posicionamento de um objeto no espaço tridimensional (in Bastos, 2013); fonte: (Physics Forums, http://www.physicsforums.com/showthread.php?t=186396)	22
Figura 10. Área de levantamento com LiDAR terrestre, Bicas.....	23
Figura 11. Área de levantamento com LiDAR Terrestre na praia do rio da Prata.....	24
Figura 12.Exemplo de nuvens de pontos resultantes de levantamentos com LiDAR terrestre: (a) praia do Rio da Prata; (b) praia das Bicas..	24
Figura 13. Localização das áreas de levantamento e recolha de dados experimentais para estimar o fornecimento sedimentar.....	25
Figura 14. As medições relativas são sempre realizadas por dois operados como forma de garantir a maior precisão.	26
Figura 15. Computar portátil com o software ScanMaster	27
Figura 16. Determinação das coordenadas.....	27
Figura 17. Levantamento na praia do rio da Prata.....	27
Figura 18. Mapa de localização do estudo.	29
Figura 19. Bacia de pequena dimensão com estrutura de retenção assinalado com a seta vermelha.....	32

Figura 20. Remoção do material que se encontrava acima do tapete de plástico, 29 de Dezembro 2014.	33
Figura 21. Aplicação da metodologia de Langbein & Schumm (1958).	34
Figura 22. Bacia Bicas sem malhas centradas (a); Bacia Bicas com malhas centradas (b)	37
Figura 23. Programação em Model Builder. Determinação do volume.	38
Figura 24. Variações verticais entre as duas superfícies levantadas na pequena bacia da praia das Bicas.	38
Figura 25. Arriba com pequenas bacias sem malha centrada (a) e com malha centrada (b).	39
Figura 26. Variações de elevação entre as duas superfícies.	39
Figura 27. Camada onde foi recolhida uma embalagem de chocolate com indicação da data de validade (01-06-91).	41
Figura 28. Elemento antropogénico retirado do meio do leque de areia não consolidado (13-07-92).	41
Figura 29. Barragem de sedimentos com acumulação de sedimentos (17 de dezembro, 2014).	42
Figura 30. Delimitação da arriba de natureza arenosa no Arco Caparica-Albufeira	45

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Tabela síntese das características das nuvens de pontos.	23
Tabela 2. Alturas do LiDAR terrestre e prisma de referência.	28
Tabela 3. Variáveis RUSLE	35
Tabela 4. Síntese de resultados sobre o fornecimento sedimentar por bacias de pequena dimensão. O valor assinalado é o valor que se utiliza para comparar com os resultados das metodologias utilizadas.	44
Tabela 5. Síntese de resultados de meso-escala espacial.....	45
Tabela 6. Síntese de resultados para a arriba arenosa do arco Caparica-Espichel.	46

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

A avaliação do fornecimento sedimentar debitado para o litoral, é um tema de crescente relevância, com interesse no apoio à tomada de decisão no âmbito da gestão e ordenamento da zona costeira, nomeadamente na avaliação de sedimentos necessários para alimentação das praias. Estudos realizados por investigadores portugueses neste âmbito (e.g. Cardoso, 1984; Álvares & Pimenta, 1998; Oliveira, 2009; Taborda, et al., 2010; Lira, et al., 2012), comprovam a elevada importância da avaliação do caudal sólido sedimentar.

O objetivo principal deste estudo, consistiu na determinação do fornecimento sedimentar ao arco Caparica - Espichel por bacias de pequena dimensão. Apresentam-se como objetivos complementares a determinação da aplicabilidade dos modelos empíricos ao caso de estudo e a definição do balanço sedimentar costeiro no arco Caparica - Espichel. Como objeto de estudo definiram-se as bacias hidrográficas de pequena dimensão, que constituem o sistema de drenagem incipiente, desenvolvido nas arribas e vertentes costeiras de natureza arenosa do arco Caparica - Espichel. Estas resultam do progressivo entalhe, aprofundamento e alargamento de regueiros, que funcionam como pequenos canais de drenagem, condutores de sedimentos para o litoral.

O fornecimento sedimentar, neste tipo de sistemas, depende da ação conjunta da erosão marinha e da erosão hídrica no destacamento de sedimentos e na eficiência da transferência dos sedimentos produzidos até à praia. Estes dois processos são regulados por um conjunto de fatores interdependentes como a dimensão da bacia, o declive, a litologia do substrato, a vegetação, o clima e o tipo de solo. Há semelhança de outras arribas de natureza arenosa, as arribas e vertentes costeiras do arco Caparica – Espichel, as duas formas de erosão, marinha e hídrica, fornecem sedimentos para a praia quer diretamente através dos escorregamentos na base da arriba, quer indiretamente através do transporte de sedimentos arenosos pelos pequenos canais de drenagem, acumulados sob a forma de depósitos de sopé.

A quantificação da erosão pode ser feita com recurso a diferentes metodologias: modelos empíricos, que determinam a taxa média anual de perda de solos (erosão hídrica específica), nomeadamente os modelos de Langbein & Schumm (1958); Teixeira & Andrade (1997); *RUSLE (Revised Universal Soil Erosion)* (Renard, et al., 1997); e modelos de base física, que preveem taxas de erosão tendo em conta os diversos fatores que a afetam, nomeadamente os modelos *WEPP (Water Erosion Prediction Model)* (Flanagan, et al. 1997) e *EUROSEM (European Terrestrial Reference System Portuguese)* (Morgan, et al., 1998). No terreno realiza-se através: da análise da evolução da topografia, utilizando equipamentos de elevada resolução espacial como o *LiDAR (Light Detection and Ranging)* aerotransportado ou terrestre; a fotogrametria terrestre; a estação total e o *DGPS (Differential Global Positioning System)* e igualmente através da acumulação de sedimentos em estruturas de retenção e/ou através da análise da evolução dos depósitos de sopé das arribas.

Neste estudo, construiu-se uma estrutura de retenção de sedimentos (que funciona como uma barragem), numa bacia de pequena dimensão, localizada numa arriba arenosa, na praia do rio da Prata, que permitiu a quantificação dos sedimentos retidos. Esta bacia reunia boas condições para o posicionamento da estrutura de retenção, pois tratava-se de um local pouco exposto evitando a remobilização da estrutura por meios antropogénicos e longe da ação da erosão marinha.

A recolha de amostras de sedimentos nas arribas compreendidas entre a praia das Bicas e a praia rio da Prata, assim como na face e berma da praia das Bicas. O seu posterior processamento ao nível das suas características texturais, possibilitou relacionar o sedimento amostrado com o local de origem e proceder à comparação com sedimentos de outras praias.

CAPÍTULO 2. ESTADO DA ARTE

Neste capítulo, pretende-se efetuar uma análise do estado atual dos conhecimentos, no que se refere aos modelos empíricos para avaliar a erosão hídrica e aos métodos de avaliação da evolução morfológica.

2.1. Modelos empíricos de erosão específica

2.1.1. Langbein & Schumm

O modelo de Langbein & Schumm (1958) baseia-se na produção sedimentar pela ação da erosão hídrica, responsável pela remoção de sedimentos por impacto das gotas de chuva e condicionando o escoamento superficial.

Estes autores estudaram bacias hidrográficas que apresentavam áreas de superfície de drenagem diferentes e em contextos climáticos distintos, utilizando dados relativos a duas fontes de informação: 1) estações sedimentares, dos serviços geológicos americanos, medindo a carga em suspensão transportada pela bacia hidrográfica; 2) estações sedimentares instaladas em albufeiras de barragens permitindo quantificar a carga total retida.

A metodologia adotada por Langbein & Schumm (1958) implicou a organização inicial dos dados experimentais, relativos à produção sedimentar anual, de acordo com a precipitação efetiva, sendo posteriormente agrupados e calculadas as respetivas médias. Os dados obtidos por estes procedimentos foram ajustados graficamente a uma curva, obtendo-se desta forma duas curvas experimentais, expressando os dados de produções sedimentares pelas duas fontes de informação referidas acima.

Os resultados do modelo são expressos sob a forma gráfica, correlacionando a produção sedimentar de uma bacia hidrográfica padrão (com uma área de 100 km²), em condições de temperatura média anual do ar padrão (10 °C), com a precipitação efetiva. Os autores referem a correlação existente entre precipitação efetiva e escoamento superficial, podendo determinar-se graficamente os valores de um em função do outro.

Komar (1976) redesenhou os gráficos referentes ao modelo de Langbein & Schumm (1958), e converteu as unidades dos gráficos originais (ton m^{-2}) utilizando a relação massa-volume proposta pelos autores e que corresponde ao valor médio do peso específico dos depósitos 1 ton m^{-3} , encontrado em cerca de 170 albufeiras norte-americanas (Figura 1.).

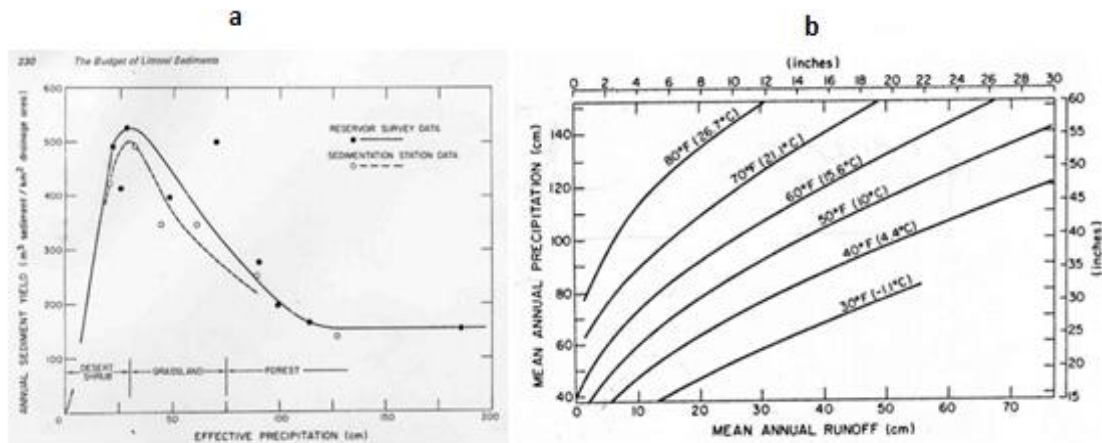


Figura 1. Gráficos relativos à metodologia de Langbein & Schumm, extraídos de Komar (1976).

Os gráficos representam: a - Produção sedimentar específica anual (m^3km^{-2}) em função da precipitação efetiva (bacia-padrão com 100 km^2 e temperatura média anual do ar de 10°C); b - Relações entre temperatura média anual, precipitação e escoamento superficial, segundo Langbein, 1949 (extraídos de Komar, 1976).

Este modelo continua a ser utilizado para a determinação da erosão hídrica como demonstra o trabalho de Taborda et al., (2010) aplicado ao litoral do concelho de Cascais.

2.1.2. Teixeira & Andrade

O modelo de Teixeira & Andrade (1997) surge no seguimento do modelo realizado por Fournier (1960), e consiste num conjunto de correlações empíricas entre a precipitação média anual (P) na bacia de drenagem a montante de albufeiras de barragem, a superfície que a define (A) e a produção sedimentar afluente à albufeira (PE – Produção Específica). Os dados experimentais (dados medidos para posterior comparação com as estimativas teóricas) foram determinados com base nos dados nacionais resultantes da comparação de levantamentos batimétricos das albufeiras (evolução da capacidade de armazenamento) refletindo diferenças volumétricas, medidas pelas entidades gestoras das barragens, considerando o peso específico aparente seco do material para albufeiras de bacias nacionais (γ_a) igual a 1 ton m^{-3} .

Estes autores, verificaram a necessidade de desenvolver duas fórmulas para o cálculo da erosão específica, que refletissem as particularidades climáticas de Portugal, com um clima mediterrânico, caracterizado pela distribuição da estação pluviosa no inverno e marcada seca estival. A classificação de Köppen (1936) distingue dois tipos de subclimas: verão quente - Csa e verão fresco - Csb. O subclima Csa caracteriza praticamente toda a região a sul do Tejo e o subclima Csb estabelece-se essencialmente em toda a região norte do Vale do Tejo.

$$\text{Clima Csa} \quad PE = 1472A^{-0.06} \times P^{2.82}$$

$$\text{Clima Csb} \quad PE = 89A^{-0.15} \times P^{2.97}$$

PE: Produção específica ($\text{m}^3 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$);

A: Superfície da bacia de drenagem (km^2);

P: Precipitação média anual (m).

Sendo um modelo parametrizado para o clima de Portugal Continental e continuamente utilizado por investigadores portugueses (e.g. Andrade et al., 2008), permitiu a quantificação da erosão hídrica, considerando-se como um modelo importante para uma análise da sua aplicabilidade no presente caso de estudo.

2.1.3. RUSLE

O modelo RUSLE, (Revised Soil Loss Equation) (Renard et al., 1997) resulta de intensa pesquisa e experimentação, utilizando a mesma equação do modelo original USLE (Universal Soil Loss Equation) (Wischmeier & Smith, 1965), porém, calibrando os parâmetros e calculando-os com maior precisão através do conhecimento adquirido ao longo de vários anos de investigação e pesquisa.

O modelo USLE quantifica a taxa anual de perda de solos (ou taxa de erosão anual), baseado num padrão de precipitação, tipo de solo, topografia, vegetação e práticas de conservação ou uso do solo.

Este modelo foi desenvolvido nos Estados Unidos da América, em talhões utilizados para o estudo experimental da erosão hídrica, tendo dimensões de referência fixadas em 22.00 metros de comprimento por 1.83 m de largura com declive de 9.0 %. Estes talhões foram instalados em diferentes tipos de solos e submetidos a diferentes práticas agrícolas. Esta equação foi desenvolvida empiricamente a partir de mais de 10.000 talhões, permitindo a estimativa da perda média anual do solo (Tomás, 1993).

De acordo com este estudo foram identificados seis fatores necessários para o cálculo da perda de solo para um determinado local, expressos sobre a forma numérica. Estes fatores são fortemente influenciados pelas condições climáticas, condicionando o resultado final da equação de perda de solo (no entanto, representam sempre a longo termo as médias anuais de perda de solo). Assim, estes fatores são intrínsecos de cada local, sendo calibrados com os dados recolhidos experimentalmente no campo. A equação universal de perda de solos apresenta os seguintes fatores: $A = R \times K \times L \times S \times C \times P$

Sendo que A representa a perda de solo média anual ou erosão específica; R representa o fator climático relacionando o efeito do impacto de gotas de chuva e o volume de escoamento associado à precipitação. É calculado com base no produto do parâmetro de tempestade EI_{30} em que, que E corresponde à energia da tempestade considerando a precipitação e o escoamento associado e I_{30} , corresponde ao intervalo de trinta minutos de máxima intensidade de precipitação e escoamento; K é o fator de erodibilidade do solo para cada vertente, que depende da textura, da percentagem de

matéria orgânica, da estrutura e da permeabilidade; L corresponde ao comprimento da vertente e S é o declive da vertente; C é o fator relativo à vegetação e P o fator de conservação do solo ou de prática agrícola.

O modelo foi revisto em 1978, através do desenvolvimento de novas técnicas para estimar os valores dos parâmetros, contemplando informação adicional de uso do solo, condições climáticas e práticas de conservação do solo. Esta revisão permitiu a atualização de gráficos e tabelas utilizados no cálculo dos parâmetros presentes na fórmula do USLE, proporcionando, deste modo, uma melhor precisão no cálculo das taxas de erosão médias anuais.

Adicionalmente este modelo foi incorporado num programa de computador (disponível em www.ars.usda.gov), proporcionando o aumento da base de dados e permitindo o cálculo dos parâmetros de forma mais simples e rápida.

O modelo RUSLE permitiu desta forma a revisão dos parâmetros do modelo inicial incluindo: novos valores do índice de erodibilidade EI (R); uma aproximação variável no tempo para refletir o fator de erodibilidade (K) do solo, refletindo as condições de congelamento/descongelamento e condições de consolidação provocadas pela extração de humidade; um subfactor para avaliar o fator de uso do solo, para solos de uso agrícola (C); uma nova equação para melhor definir os fatores fisiográficos (LS); novos valores de práticas de conservação agrícola (P) (Renard et al., 1997). O modelo RUSLE apresenta uma base de dados mais vasta e um método de cálculo mais eficaz, permitindo a calibração rigorosa dos parâmetros da equação original. Este modelo tem sido utilizado, por diversos investigadores nacionais (e.g. Silva, 2009; Lira, et al., 2012) e internacionais (e.g. Kouli, et al., 2008; Terranova, et al., 2009) aplicados à problemática da erosão em diferentes territórios. Acresce o facto de que as constantes poderem ser calibradas com dados relativos ao território nacional, uma vez que já existe um extenso trabalho de parametrização para o nosso território (Tomás, 1993; Pimenta, 1998).

2.1.4. Water Erosion Prediction Project

O projeto WEPP (Flanagan et al., 1995) foi iniciado em 1985, por vários investigadores e colaboradores da ARS (*Agricultural Research Service*).

O desenvolvimento do modelo WEPP, envolveu uma intensa pesquisa por parte de engenheiros e cientistas nomeadamente: intensa pesquisa no terreno e em laboratório, parametrização e teste do modelo e a formação de várias interfaces e bases de dados para aceder as necessidades dos usuários. O modelo foi finalmente lançado em 1995, após vários anos de experimentação (Flanagan et al., 2007).

O modelo WEPP é um modelo de base física que considera e simula uma grande variedade de processos físicos importantes na erosão dos solos, incluindo: quantidade de escoamento, quantidade de precipitação e máximos de intensidade, permeabilidade das formações, composição (em percentagem) dos principais constituintes presentes no material analisado, vegetação, caudal sólido, entre outros).

Inclui uma ferramenta que permite a geração do clima pretendido (ferramenta CLIGEN). Esta ferramenta produz estimativas diárias de precipitação, temperatura, vento e radiação solar para uma dada área, utilizando como informação base os valores médios anuais dos parâmetros referidos.

O modelo está disponível através do software (última versão, 2012 disponível em <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=18084>), sendo que apesar de possuir uma extensa base de dados para os EUA, este permite a criação de ficheiros de entrada no próprio programa, constituindo uma preciosa ferramenta de grande precisão, visto que pode ser utilizada para a investigação em áreas em qualquer parte do mundo (Pieri, et al., 2006; Pandey, et al., 2007; Raclot & Albergel, 2006; Mukhtar et al., 2014).

2.2. Métodos de avaliação da evolução morfológica

O LiDAR, ou scanner a laser 3D, do tipo aerotransportado ou terrestre é uma tecnologia de deteção remota que permite a obtenção de dados a 3D da superfície terrestre. O LiDAR apresenta uma importância emergente para os cientistas do

ambiente a nível global, considerando-se que esta tecnologia apresenta um benefício efetivo para a obtenção de uma elevada quantidade de dados a 3D com elevada resolução (Heritage & Large, 2009). A tecnologia LiDAR pode ser do tipo terrestre, quando referente a plataformas terrestres, ou do tipo aerotransportado, quando operado a partir de aeronaves (Bastos, 2013).

O desenvolvimento dos sistemas LiDAR (anexo. D.1), aerotransportado e terrestre (figura 2.), facilitam a recolha rápida de dados 3D da superfície terrestre (com cobertura espacial integral), nomeadamente os de carácter morfológico, possibilitando o estudo da evolução dinâmica da superfície a escalas temporais e espaciais indisponíveis nos métodos convencionais de medição, potenciando desta forma uma revolução do nosso conhecimento sobre os sistemas de deteção remota. Muitos trabalhos têm incidido no estudo da evolução morfológica de diferentes superfícies dos quais se destacam (Kemeny & Turner, 2008; Heritage & Large, 2009; Bastos, 2013; Lague et al., 2013; James, 2014).



Figura 2. Lidar aerotransportado (extraído de <http://www.comunidadism.es/>; fonte: <http://dielmo.com/> e LiDAR terrestre.

CAPÍTULO 3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. Enquadramento geográfico

A área de estudo localiza-se na orla ocidental portuguesa, distrito de Setúbal, mais concretamente nas arribas vivas do troço costeiro Caparica – Espichel, com orientação aproximada NNE - SSW, compreendidas entre a praia das Bicas (a norte do cabo Espichel) e a metade sul da praia da Fonte da Telha. As principais áreas analisadas no terreno incidiram no troço costeiro compreendido entre a praia das Bicas e a praia do rio da Prata (a sul da lagoa de Albufeira) (figura 3.).

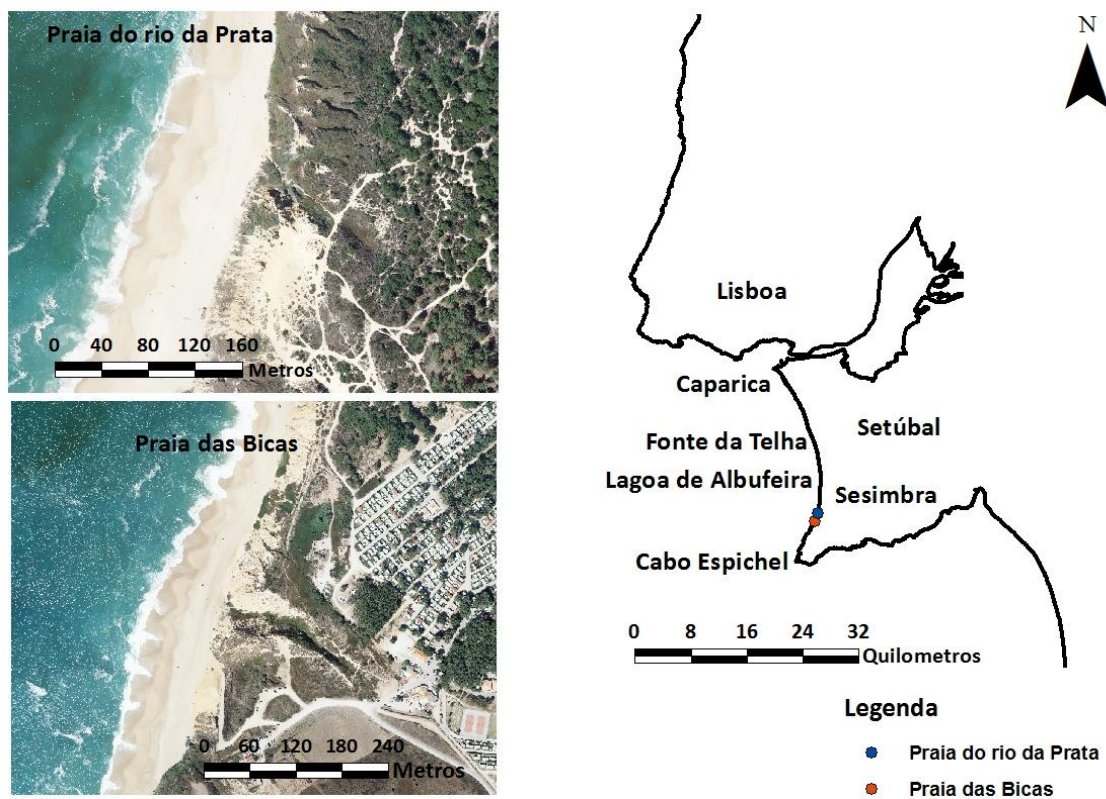


Figura 3. Enquadramento da área de estudo.

3.2. Geomorfologia

A geomorfologia da península de Setúbal pode dividir-se em duas grandes unidades que condicionam a morfologia do litoral: o sinclinal de Albufeira e a cadeia da Arrábida.

A cadeia da Arrábida é a estrutura morfotectónica orogénica, constituída por empilhamentos de cavalgamentos, mais ocidental de todo o orógeno alpino da área emersa da placa litosférica Eurásia (Kullberg et al., 2006). A cadeia da Arrábida tem um forte controlo tectónico-estrutural, sendo uma das estruturas mais importantes da tectónica de inversão do Miocénico registadas na Bacia Lusitaniana, de direção ENE-WSW. A área de Sesimbra aproveita uma estrutura tectónica bastante complexa, designada depressão de Sesimbra (anexo B.1). O sinclinal de Albufeira prolonga-se desde o estuário do Tejo, a norte, até à cadeia da Arrábida, a sul, limitado a ocidente pela arribas Mio-Pliocénica.

O litoral é contínuo desde a Cova do Vapor à praia das Bicas, com configuração de uma típica praia de enseada, em arco de círculo (Teixeira, 1990). Este litoral é dominado a sul da Fonte da Telha pela arribas viva Mio-Pliocénica, com orientação NNE-SSW, cuja evolução depende da ação conjunta da erosão marinha e hídrica. Sunamura (1983; 1992 extraído Arnott, 2009) sumariza os principais processos responsáveis pelo recuo da arribas costeira¹ (figura 4.). O processo inicial consiste na ação das ondas sobre o sopé da arribas, responsável pela erosão direta e recuo do sopé. A erosão de sopé por conseguinte, aumenta o declive da arribas sendo um fator importante na instabilidade desta. Desta forma a ação da erosão marinha, assume um papel significativo na importância relativa de um conjunto de processos subaéreos que atuam sobre a arribas. Estes incluem nomeadamente os movimentos de massa de vertente (e.g. escorregamentos, tombamentos) e formação de bacias de pequena dimensão devido ao aumento de pendor das vertentes costeiras da arribas, facilitando a erosão hídrica através da precipitação e escoamento de água (anexo C.1).

¹ O recuo da arribas é definido como uma medida do recuo horizontal em relação

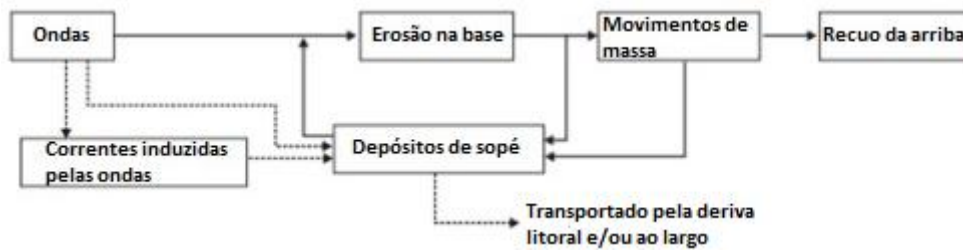


Figura 4. Representação esquemática dos principais processos associados ao recuo de arribas costeiras (Sunamura, 1983; 1992, extraído de Arnott, 2009)

O material erodido da arriba por estes processos é transportado pela ação da gravidade ficando acumulado no sopé. Este material serve de proteção temporária à arriba, sendo o seu processo de recuo retomado quando este for removido pela ação das ondas e das correntes marinhas. A eficiência destes processos erosivos irá depender da natureza do material da arriba (e.g. litologia, resistência do material), bem como da vegetação do pendor da arriba, do perfil da plataforma próximo da costa que influencia a energia das ondas e dos fatores climáticos.

Relativamente à influência da natureza do material sobre a eficiência dos processos erosivos que originam as formas de erosão subaérea (escorregamentos e desenvolvimento de regueiros), verifica-se que no caso dos escorregamentos, estes ocorrem sobretudo em materiais pouco consolidados, como se observou nas arribas talhadas em areias pouco consolidadas do Pliocénico e arenitos argilosos do Miocénico.

No âmbito do estudo da evolução de arribas do litoral ocidental da península de Setúbal, no concelho de Sesimbra (desde a praia da Vala Grande até à praia dos Lagosteiros), desenvolvido por Marques & Sobreira (1994), entre 1958-1989, obtiveram-se taxas médias anuais de recuo. Para a praia das Bicas a taxa calculada foi de 0.01 m ano^{-1} ; na praia um pouco mais a sul desta, a praia do Penedo, a taxa calculada foi de 0.06 m ano^{-1} ; mais para norte, na praia do Meco, a taxa calculada foi de 0.7 m ano^{-1} .

Relativamente ao entalhe de regueiros, estes ocorrem sobretudo nas areias pouco consolidadas do Pliocénico, adquirindo um aspeto retalhado por canais desorganizados

(anexo. C.1), podendo por vezes talhar litologias mais antigas, como no caso dos arenitos do Miocénico, originando canais mais profundos e organizados (anexo. C.2).

Do ponto de vista da evolução destas arribas, pode-se verificar que as zonas mais rebaixadas e recuadas ocorrem em litologias arenosas pouco consolidadas (areias pouco consolidadas do Pliocénico). As zonas de maior declive correspondem a arribas talhadas em arenitos argilosos do Miocénico, onde ocorreram escorregamentos de massas de grande dimensão.

O troço costeiro da praia das Bicas - praia do rio da Prata, é caracterizado por um extenso areal, onde as praias são contíguas com uma arriba de natureza essencialmente arenosa, com exceção de uma camada argilosa proeminente na praia do Penedo (a norte da praia das Bicas). A sul da praia das Bicas, ocorre a transição de troço essencialmente arenoso dando lugar para sul a uma plataforma de abrasão rochosa, onde as poucas praias que existem encontram-se bem encaixadas (e.g. praia da Foz).

As pequenas bacias do troço costeiro em estudo, encontram-se em arribas costeiras com uma média aproximadamente de 40 a 45 graus de inclinação (figura 5.), com pouca vegetação, do tipo esclerofila, e com depósitos de sopé que denotam o fornecimento sedimentar destas bacias às praias (e.g. figura 6.).

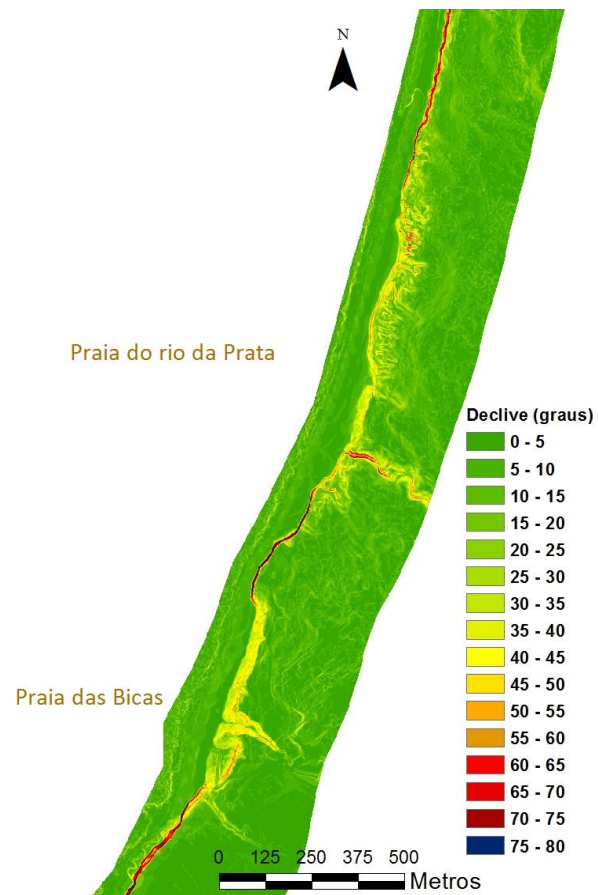


Figura 5. Carta de declive do trecho costeiro estudado.
Dados geográficos de base INAG & IGP, 2011.



Figura 6. Fornecimento sedimentar para as praias.

3.3. Geologia

De acordo com a notícia explicativa da Folha 38-B (Manuppela et al., 1999) e descrição da litoestratigrafia elaborada por Marques et al., (2013) onde se caracterizam as principais unidades geológicas da faixa costeira (figura 7.), abaixo apresentam-se as formações presentes na área em estudo, foi elaborada a seguinte descrição da geologia presente na área de estudo:

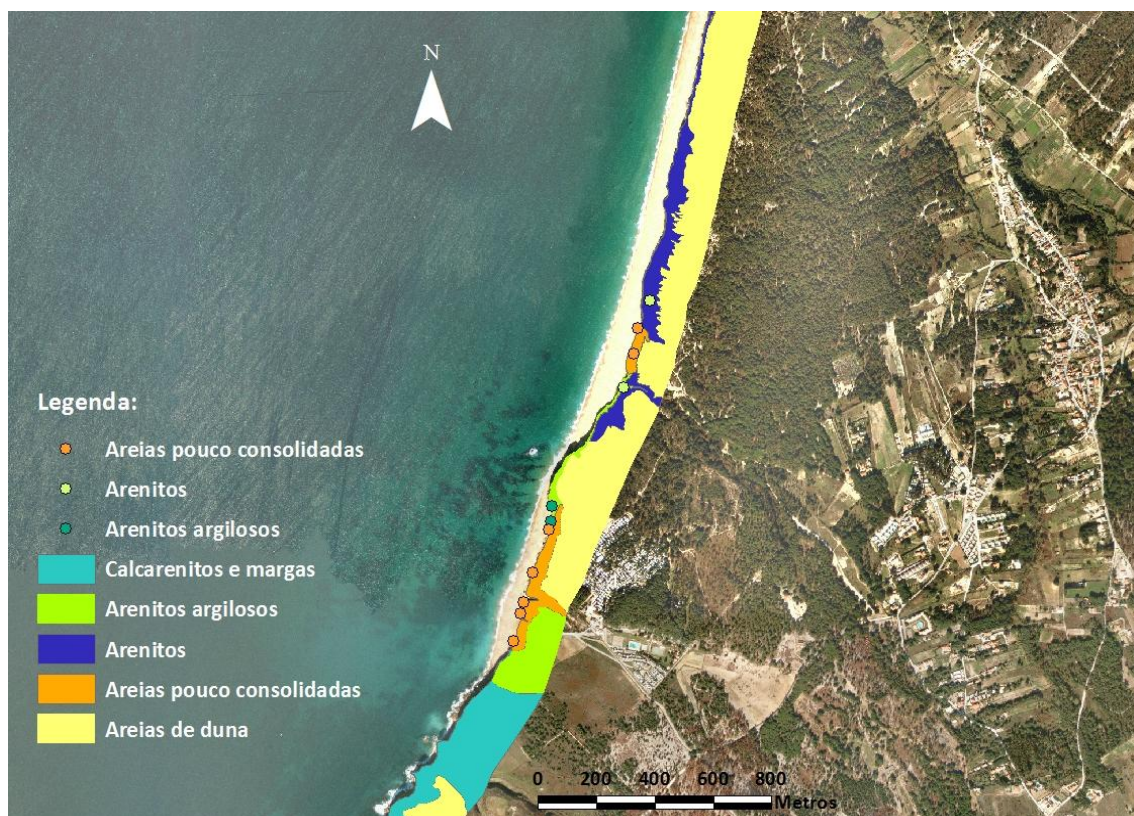


Figura 7. Levantamento geológico extraído de Marques et al. (2013) (polígonos). Amostras recolhidas em campo (círculos).

Areias de duna

As areias de duna da série do Holocénico podem observar-se no setor este de Sesimbra e a sul da praia do Penedo, no topo das arribas. Cobrem as areias do pliocénico.

Areias pouco consolidadas

Os depósitos pliocénicos da formação de Santa Marta, representadas por areias alaranjadas pouco consolidadas são gerados pela ação de um vasto sistema fluvial, que se instalou nesta região, ravinando os terrenos miocénicos. Os fundos dos antigos canais fluviais encontram-se revestidos por leitos de calhaus muito rolados de diferentes litologias aos quais se sobrepõem areias finas, que testemunham perda de capacidade de transporte, abandono ou divagação do canal (Cruces et al., 2001). Para a parte superior, existem intercalações de argilas cinzentas a negras com restos vegetais e grandes cristais maclados de gesso, lignitos e diatomitos (Manuppella et al., 1999), que representam os depósitos de cheia deste sistema fluvial quando o rio ultrapassava o seu leito de estio e inundava as planícies aluviais adjacentes (Feitas & Andrade, 2001).

Arenitos

A unidade referente aos depósitos da ribeira da laje do andar Tortoniano aflora bem a norte da praia das Bicas e é constituída maioritariamente por arenitos com diferentes estados de consolidação. Encimadas por outra superfície erosiva, são cobertas pelas areias feldspáticas de Fonte da Telha e Coia (do Pliocénico) nalguns setores como na praia do rio da Prata.

Arenitos argilosos

Os depósitos glauconíticos do Penedo apresentam uma unidade datada do Langhiano – Serravaliano. Esta aflora bem no extremo norte da praia das Bicas, bem representado na praia do Penedo. Fundamentalmente constituído por areias argilosas e arenitos argilosos, de cor cinzenta a cinzenta esverdeada (rica em mica de glauconite), é possível observar nas camadas de base uma concentração de fósseis (e.g. moluscos, equinídeos) e evidências de bioturbação, característicos de ambiente marinho.

Calcarenitos e margas

Os afloramentos geológicos localizados a sul da praia das Bicas, apresentam-se constituídos por camadas datadas do Burdigaliano, formado por rochas calcárias, margosas, com alguns níveis de elevada concentração de macrofósseis, presentes em biocalcarenitos.

3.4. Clima

O clima do concelho da península de Setúbal caracteriza-se como mesotérmico húmido (Cs na classificação de Köppen, 1936) com verão quente (Csa). A região em estudo apresenta uma temperatura do ar média anual de 16 °C e precipitação média anual de 713 mm (valores médios de precipitação referentes ao relatório de precipitação mensal de 1937/38 até 2011/2012 e temperatura médias anuais históricas referentes ao boletim de temperatura média mensal de 1940 a 2012), de acordo com os dados adquiridos pela estação meteorológica de S. Julião do Tojal (referência: 20C/01C) integrada no SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (<http://snirh.apambiente.pt/>).

De acordo com o Instituto Português do Mar e da Atmosfera, o ano de 2014, em Portugal Continental, caracterizou-se por valores de temperatura média anual do ar e da precipitação superiores aos valores médios (determinados no período entre 1971-2000). O valor médio anual da temperatura do ar, em 2014, foi de 15.8 °C, superior à média em +0.54 °C. O valor médio da precipitação total anual foi de 1098 mm, o que permite classificar o ano de 2014 como um ano muito chuvoso, com uma diferença em relação à média de +216 mm.

CAPÍTULO 4. MÉTODOS

4.1. Compilação de informação

4.1.1 Modelos empíricos

Foi compilada a informação necessária para a aplicação dos modelos empíricos de modo a estimar os valores de erosão e volume sedimentar debitado pelas bacias de pequena dimensão estudadas. Os dados de base usados nestes cálculos encontram-se descritos de seguida.

Os valores de temperatura e precipitação média anual foram retirados dos dados obtidos pelo SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos) através da estação S. Julião do Tojal (20C/01).

Os dados necessários para a quantificação das variáveis foram obtidos da seguinte forma e de acordo com a metodologia seguida em estudos similares (Lira et al., 2011):

- 1) O fator R, retirou-se do mapa do fator de erosividade de precipitação R do INAG, (disponível em <http://geo.snirh.pt/AtlasAgua>). Estes valores foram estimados tendo como base todos os eventos pluviosos nos quais a precipitação excedeu uma polegada (25.4 mm), segundo Zachar (1992);
- 2) O fator K, calculou-se de acordo com a tabela proposta por Pimenta (1998), e utilizou como informação de base a carta de solos de Portugal à escala 1:1.000.000 (<http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/index.html>), que segue o sistema de classificação da FAO - Organização das Nações Unidas (anexo. E);
- 3) O fator C, baseou-se na cartografia CORINE Land Cover 2006 (Caetano *et al.*, 2009), na escala 1:1.000.000 (disponível <http://www.dgterritorio.pt/>) de acordo com a tabela de correspondência proposto por Tomás (1993) (anexo.E);
- 4) Para adequar o modelo da RUSLE à escala da bacia hidrográfica, os fatores L e S foram fundidos num único fator topográfico (LS), de acordo com Kinnell (2010), através da seguinte expressão numérica:

$$LS = \left(\frac{FlowAccu. CellSize}{22.13} \right)^{0.4} \times 1.4 \left(\frac{Sin(Slope)}{0.0896} \right)^{1.3}$$

Onde:

FlowAccu - Superfície acumulada que drena para cada uma das células da malha que representa a bacia hidrográfica; *CellSize* – dimensão da célula considerada – 2 m no caso presente, *Slope* – declive em cada célula considerada;

- 5) O fator P, funcionou nesta abordagem como elemento neutro (igual a unidade 1), uma vez que na área de estudo não há práticas agrícolas.

Diversos estudos (e.g. Langbein & Schumm, 1958, Teixeira & Andrade, 1997) demonstram que a produção sedimentar geralmente diminui com o aumento da superfície de drenagem, refletindo declives mais baixos e a menor probabilidade de um evento meteorológico afetar a totalidade da área de drenagem à medida que esta aumenta. A transformação da intensidade da erosão hídrica em caudal sólido, necessita de um coeficiente de correção, designado por *Sedimentary Delivery Ratio* – SDR (coeficiente de produção sedimentar), que é função das características da bacia hidrográfica, em especial da sua área total (Cardoso, 1984). Deste modo para a determinação do SDR para as bacias de drenagem, utilizou-se a correlação entre valores de área de drenagem e SDR proposta por Mitchell et al. (1980, extraído Cardoso, 1984) (figura 8.).

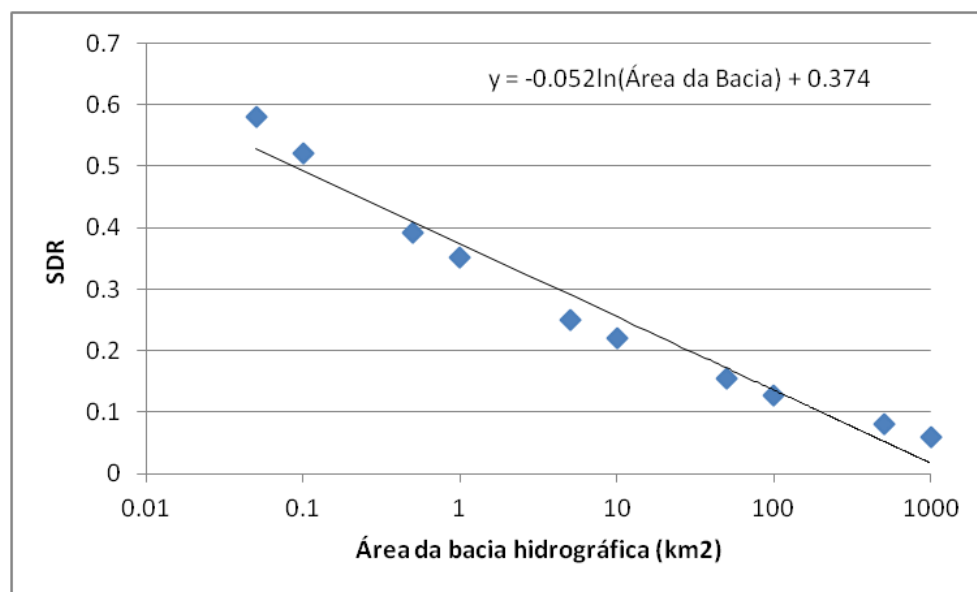


Figura 8. Determinação por correlação empírica do SDR a partir da área da bacia estudada.

Os valores SDR, que refletem a percentagem de sedimento que chega à foz da bacia, são multiplicados pelos valores do caudal específico específica ($\text{kg m}^{-2} \text{ano}^{-1}$) calculada para cada praia, obtendo-se o valor parametrizado do caudal sólido (este após se dividir pelo peso específico das areias toma o valor do caudal específico).

4.1.2 LiDAR aerotransportado – Costa portuguesa

Numa primeira abordagem ao problema principal deste estudo, utilizaram-se dados de LiDAR aerotransportado, que consistem nos dados topográficos referentes à zona costeira de Portugal Continental adquiridos pela sinergia, de valor imensurável, de uma parceria entre dois organismos públicos INAG (Instituto Nacional da água) & IGP (Instituto Geográfico Português), com o objetivo de dar resposta às solicitações das várias entidades com competência na gestão das zonas costeiras de Portugal Continental (Silva, 2012).

O LiDAR aerotransportado apresenta vantagens na obtenção de dados de zonas com maior extensão espacial ou zonas de difícil acesso permitindo a aquisição de dados a uma altitude aproximada de 3.500 m. Os dados resultantes podem ser processados gerando superfícies de elevação com uma precisão na ordem dos 0.15 m (Charlton et al., 2003 in Heritage & Large, 2009).

4.2. Aquisição de dados e processamento

A preparação das campanhas de campo teve em conta os seguintes objetivos e equipamentos: 1) caracterização morfológica de pormenor (LiDAR terrestre + DGPS); 2) levantamento de perfis de praia (DGPS); 3) caracterização sedimentológica (sacos para recolha de amostras); 4) construção de uma estrutura de retenção de sedimentos (tábuas de madeira, sacos de plástico; marreta; pregos; serrote). Nesse sentido, preparou-se todo o material necessário para a realização das campanhas (anexo F.1).

No final das campanhas de campo foram elaborados relatórios descritivos de toda a campanha (fichas de campo), permitindo desta forma a revisão coerente de todos os procedimentos elaborados e os resultados obtidos (e.g. anexo F.2).

4.2.1. LiDAR terrestre

O LiDAR terrestre permite obter dados com elevada precisão e exatidão em áreas espacialmente reduzidas com padrões espaciais complexos, permitindo a avaliação das superfícies com elevado pormenor inclusive ao nível da topografia detalhada do areal (micro-rugosidade), como verificado em estudos recentes (e.g. Bastos, 2013). Este método permite a aquisição de dados com uma precisão entre 0.01 a 0.03 metros (Petermans, 2011; Bastos 2013), e é a técnica correntemente escolhida para adquirir dados topográficos com elevada resolução em pequena escala (desde de dezenas a centenas de metros) permitindo a determinação precisa de medidas de volume ou processos de modelação (James, 2014).

O LiDAR aerotransportado e terrestre funciona através da emissão de radiação laser e deteção da emissão refletida no sentido de determinar com precisão a distância ao objeto refletor (Kemeny & Turner, 2008). O LiDAR terrestre permite ainda obter informação sobre as coordenadas e o valor da intensidade da radiação refletida pelo objeto distante (Kemeny & Turner, 2008).

Os dados de saída do LiDAR terrestre consistem numa nuvem de pontos que representam milhões de medições de distância por laser reproduzindo um cenário a três dimensões (Kemeny & Turner, 2008)

A localização geométrica da nuvem de pontos adquirida pelo LiDAR terrestre é definida inicialmente por um sistema de coordenadas referenciado à origem do instrumento, sendo a posição de cada ponto calculada através da informação do TOF (Time Of Flight; tempo de voo), combinado com o ângulo de emissão do impulso laser (Heritage & Large, 2009). O posicionamento inicial do LiDAR terrestre é conseguido através da emissão de radiação laser que incide num prisma de referência, consistindo numa placa refletora localizado no topo de um tripé.

Utilizando um sistema de coordenadas cartesianas, a posição de um objeto é dada por 3 escalares (X, Y, Z), como demonstra a figura 9.

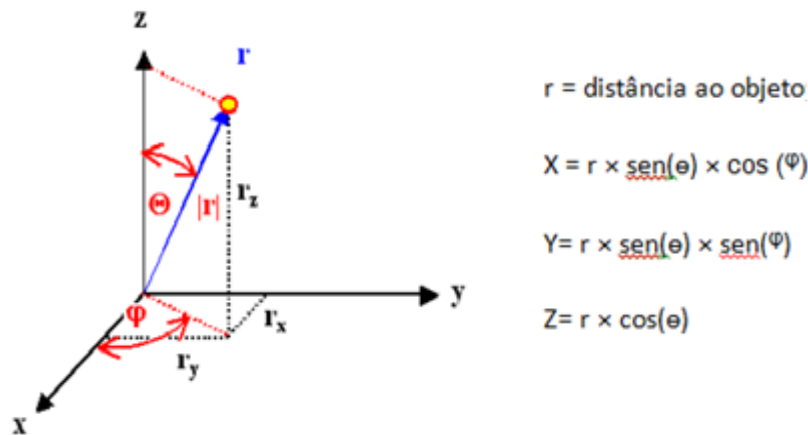


Figura 9. Posicionamento de um objeto no espaço tridimensional (in Bastos, 2013); fonte: (Physics Forums, <http://www.physicsforums.com/showthread.php?t=186396>)

Os eixos X e Y definem um plano normal e paralelo ao ângulo zero azimutal do scanner. O eixo Z é vertical e perpendicular aos outros eixos representando a cota altimétrica (Rosser, Petley et al., 2005).

Existem dois tipos primários de *scanners* a laser 3D como descrito por Kemeny & Turner, (2008). O *scanner* utilizado neste trabalho é do tipo TOF (modelo TOPCON GLS 1500), sendo a distância r calculada através da medição do “tempo de voo”, ou seja, o tempo que um impulso laser demora no percurso desde que é emitido até que é refletido pelo objeto alvo e recebido novamente pelo sensor do LiDAR, expresso na equação:

$$\text{Distância} = \frac{\text{Velocidade da luz} \times \text{Tempo de voo}}{2}$$

O LiDAR terrestre foi utilizado no levantamento de superfície das pequenas bacias localizadas nas arribas litorais. Foram realizados quatro levantamentos: dois numa bacia de pequena dimensão na praia das Bicas (o primeiro em 16/07/2014 e o segundo em 17/12/2014); dois levantamentos numa arriba arenosa com pequenas bacias na praia do rio da Prata (o primeiro 16/07/2014 e o segundo 17/12/2014) (figura 10 e figura 11). Os levantamentos realizaram-se nestas datas em clima de verão e clima de

inverno por forma a quantificar-se de uma forma rigorosa a ação da erosão hídrica (figuras 11-13).

Os dados obtidos através dos levantamentos realizados apresentam as seguintes características (tabela.1):

Local do levantamento	Data do levantamento	Número de pontos	Espaçamento médio entre pontos (m)
Praia das Bicas	16-07-2014	19 962 071	0.02
	17-12-2014	14 695 155	0.03
Praia do rio da Prata	16-07-2014	6 963 388	0.05
	17-12-2014	12 345 457	0.02

Tabela 1. Tabela síntese das características das nuvens de pontos.

Posteriormente verificou-se que as nuvens de pontos obtidas para os dois locais de estudo apresentavam zonas de sombra, (Figura 12 – nas zonas pretas não existe aquisição de pontos), tendo-se posteriormente reduzido a área a comparar para os locais com mais dados.



Figura 10. Área de levantamento com LiDAR terrestre, Bicas.



Figura 11. Área de levantamento com LiDAR Terrestre na praia do rio da Prata.

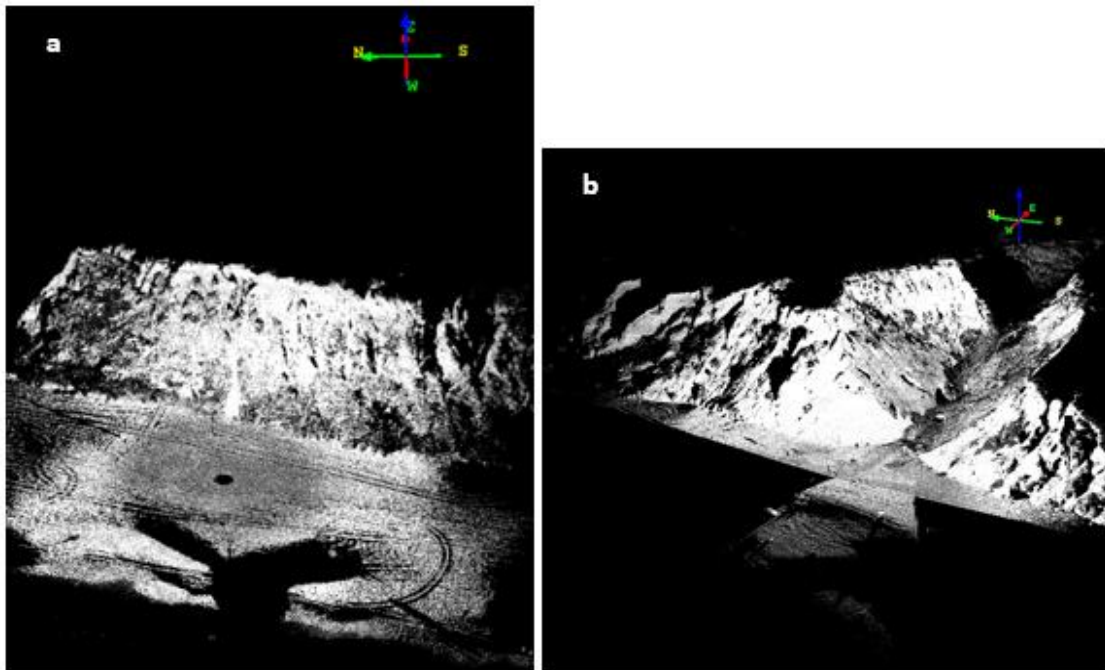


Figura 12.Exemplo de nuvens de pontos resultantes de levantamentos com LiDAR terrestre:
(a) praia do Rio da Prata; (b) praia das Bicas..

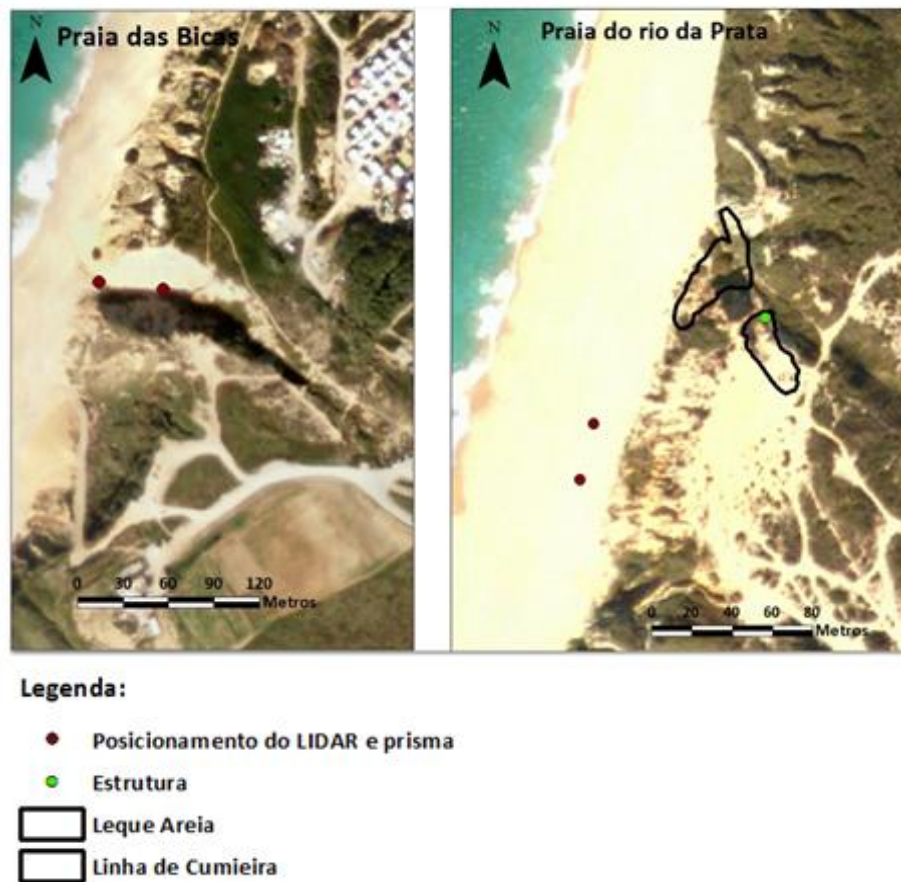


Figura 13. Localização das áreas de levantamento e recolha de dados experimentais para estimar o fornecimento sedimentar.

O posicionamento do LiDAR terrestre é realizado a partir de dois pontos, a posição da estação de LiDAR e do prisma de referência. A medição das coordenadas dos pontos foi realizada com recurso ao equipamento DGPS, em modo RTK, permitindo deste modo a georreferenciação posterior das nuvens de pontos obtidas.

Neste procedimento é necessário a definição dos limites da área do levantamento (“janela” da área a levantar), sendo o varrimento realizado em movimento de rotação (através de espelhos rotativos) para o lado direito desde o canto superior esquerdo até o canto superior direito.

A aquisição de dados de LiDAR terrestre implicou a adoção do seguinte procedimento:

- Posicionamento, com recurso a um tripé, e nivelamento da estação do LS;
- Posicionamento e nivelamento do prisma de referência;
- Medição da altura do LS e do prisma de referência (até meio alvo, realizados com recurso ao DGPS e fita métrica permitindo o confronto de duas leituras e despistar potenciais erros de medição (figura 14.);
- Aquisição das coordenadas geográficas do local onde se posiciona o Laser Scanner (definida nos registos de campo como “estação LS”) e do local onde se posiciona o prisma de referência (denominada nos registos de campo como “Prisma”) com recurso ao DGPS, para posterior georreferenciação das nuvens de pontos obtidas pelo levantamento (figura 15.).
- Ligação do LS a um computador portátil, com a aplicação ScanMaster (aplicação obtida na aquisição do LS), permitindo operar o Laser Scanner (figura 16.);



Figura 14. As medições relativas são sempre realizadas por dois operados como forma de garantir a maior precisão.

Estabelecimento da área a digitalizar:

- Definição dos limites (“janela”) de varrimento do LS (tendo em atenção os ângulos a digitalizar), e introdução da resolução espacial de aquisição de dados no computador;
- Início do varrimento pelo Laser Scanner (figura 17).



Figura 16. Determinação das coordenadas.

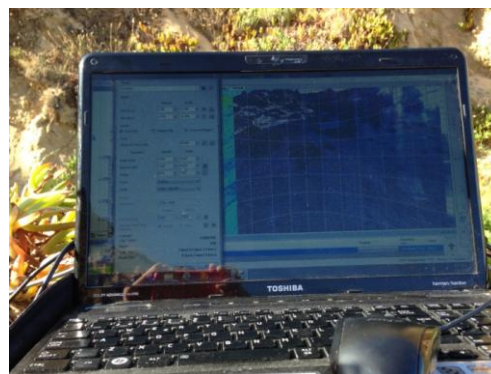


Figura 15. Computar portátil com o software ScanMaster



Figura 17. Levantamento na praia do rio da Prata.

Parâmetros e medições

Os valores do posicionamento do LiDAR terrestre e do prisma de referência, encontram-se sintetizados na tabela 2.

Data	Local	Altura Laser Scanner (m)	Altura do Prisma de referência (m)
16-07-2014	Areal da praia das Bicas	1.750	1.515
16-07-2014	Interior da pequena bacia Bicas	1.700	1.465
16-07-2014	Areal praia do rio da Prata	1.640	1.435
17-12-2014	Areal da praia das Bicas	1.738	1.106
17-12-2014	Interior da pequena bacia Bicas	1.718	1.500
17-12-2014	Areal praia do rio da Prata	1.682	1.388

Tabela 2. Alturas do LiDAR terrestre e prisma de referência.

4.2.2. DGPS

O equipamento DGPS foi utilizado no presente estudo para a medição dos pontos de amostragem em todo o troço estudado, perfis de praia das Bicas e delimitação de elementos morfológicos (e.g. depósitos de sopé de arriba (leque de areia) e linha de cumeeira da pequena bacia com estrutura de retenção localizadas na praia do rio da Prata. O DGPS foi operado em modo RTK (Real Time Kinematic) com precisão melhor que 0.05 m (anexo D.2), permitindo o estudo de superfícies com grande continuidade espacial e alterações significativas à microescala temporal, auxiliando a compreensão da evolução do sistema de praia. Este permite a obtenção de pontos com informação relativa à sua localização (longitude e latitude), à sua altimetria e à qualidade do sinal. O sistema é constituído por uma consola e uma antena colocada ou no topo de um bastão ou instalada numa mochila adequada para o efeito.

Os dados do DGPS foram processados através do ArcGIS (figura 18.), permitindo a localização dos pontos de amostragem realizados em campo e a elaboração de três perfis (o perfil apresentando na figura refere-se ao primeiro perfil realizado, sendo os posteriores perfis realizados seguindo a mesma linha).



Figura 18. Mapa de localização do estudo.

O mesmo equipamento permitiu ainda a delimitação de um leque de areia, no sopé da arriba e a delimitação da linha de cumeeira, relativa à pequena bacia onde se implantou a estrutura de retenção de sedimentos.

Foram ainda levantados três perfis de praia (julho, outubro e dezembro de 2014), na praia das Bicas, permitindo a caracterização e avaliação da evolução do sistema de praia (anexo A.2).

4.2.3. Reconhecimento fotográfico

Realizou-se um reconhecimento da área de estudo, através da descrição das diferentes litologias, e formas de erosão observadas e captura de imagens (disponíveis no site: www.flickr.com/photos/124072843@N03/map, por forma, a proporcionar um melhor entendimento da geologia e da ação da erosão hídrica e marinha sobre as litologias presentes na área de estudo.

4.2.4. Amostragem sedimentar

Nas campanhas de campo, foram recolhidas 22 amostras de campo (16 de sedimentos e as restantes de rochas). As amostras de sedimentos foram analisadas em laboratório para determinação das suas características granulométricas. Através dos dados granulométricos existentes para as areias das praias integradas no programa de monitorização para o litoral arenoso, na área de jurisdição da Administração da Região Hidrográfica (ARH) do Tejo (Silveira et al., 2013) (anexo A.1) foi possível realizar o confronto das características granulométricas dessas praias com as características do sedimento das arribas e das praias da área de estudo. Desta forma, foi possível caracterizar através de uma avaliação do espectro textural intrínseco a cada praia, qual a respetiva compatibilidade textural com os sedimentos que estão a ser fornecidos pelas arribas (anexo A2).

A recolha de amostras teve em consideração os seguintes aspetos:

- Remoção da superfície exterior dos locais a amostrar, por se poderem encontrar alterados;
- Recolha de amostras com um mínimo de 200 gramas permitindo posterior análise granulométrica.

4.2.5. Depósitos de sopé

Foi realizado um estudo da evolução de depósitos de sopé (leque de areia acumulado na base da arriba). A datação dos depósitos realizou-se através da recolha de elementos datados integrados no depósito.

Trabalho de laboratorial

Foram realizadas as granulometrias das amostras de natureza arenosa com recurso aos crivos organizados de acordo com malha do crivo (do maior -2 Phi para o menor 4 Phi) e colocados numa coluna de crivos com agitação mecânica.

Através das amostras recolhidas no campo foi possível determinar o peso específico aparente do material sólido das arribas, permitindo a parametrização deste valor utilizado nos cálculos do presente caso de estudo

O peso específico aparente seco ($\gamma_a = \text{ton m}^{-3}$) das areias que constituem as arribas, foi obtido em laboratório através da seguinte metodologia:

- Medição da altura e do comprimento de um amostrador cilíndrico com base circular, para obtenção da sua área e posterior volume.
- Enchimento do amostrador com o material arenoso (tendo sido escolhidas as duas amostras com maior diferença em relação à média do tamanho dos grãos). Realização de 4 experiências (duas de cada amostra), para aferição dos resultados.
- Obtenção do peso aparente seco da areia através da divisão da massa da área pelo volume do amostrador.

4.2.6. Estrutura de retenção de sedimentos

Na praia do rio da Prata foi possível encontrar uma bacia de pequena dimensão que reunia as condições ideais (e.g. local pouco exposto evitando a remobilização da estrutura por meios antropogénicos e longe da ação da erosão marinha) para o posicionamento de uma estrutura de retenção de sedimentos. Deste modo, procedeu-se à construção de uma estrutura de retenção colocada num talvegue (figura 19.).

Esta estrutura teve como objetivo, quantificar o volume de sedimentos, transportados por uma pequena bacia apoiando a validação dos modelos de erosão hídrica.



Figura 19. Bacia de pequena dimensão com estrutura de retenção assinalado com a seta vermelha.

A construção da estrutura de retenção foi realizada com recurso a tábuas de madeira, sendo o seu comprimento ajustado ao comprimento do canal da bacia. O posicionamento da estrutura realizou-se através de duas estacas com o auxílio de uma marreta, sendo cravadas no solo até à profundidade de 0.50 m por forma a garantir a resistência da estrutura. As traves de madeira foram colocadas na parte lateral das estacas, funcionando como uma barragem aos sedimentos transportados pelo canal de drenagem.

O fundo do canal foi revestido com plástico permitindo estabelecer o limite inferior da acumulação de sedimentos (figura 20). A estrutura foi instalada no terreno no dia 29 de outubro de 2014.



Figura 20. Remoção do material que se encontrava acima do tapete de plástico, 29 de Dezembro 2014.

4.2.7. Software Utilizado

A análise e tratamento dos dados de LiDAR aerotransportado, dados LiDAR terrestre, e dados DGPS, foram executados usando o software da ESRI® ArcMap10.1.

O sistema de coordenadas utilizado, foi o sistema de coordenadas projetadas ETRS 1989 Portugal TM06 [*European Terrestrial Reference System* de 1989 (datum)/ *Portuguese Transverse Mercator Projection* de 2006], sendo este o sistema de coordenadas oficial de Portugal Continental. Quando o sistema de coordenadas dos níveis de sobreposição, são diferentes do sistema de coordenadas pré-selecionado, efetuam-se as transformações de coordenadas, para o sistema inicialmente escolhido, através do método *position vector*, consistindo numa transformação geocêntrica (3 rotações rx , ry e rz) com sete parâmetros, evitando desta forma erros muito grandes de precisão.

Os dados experimentais obtidos com LiDAR terrestre foram georreferenciados através da aplicação ScanMaster do software TOPCON®. Estes foram exportados para os formatos comuns a diversos programas: formato texto (txt.) e formato LAS (las.) que consiste num arquivo binário que mantém a informação original da nuvem de pontos obtida pelo LiDAR.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

5.1. Fornecimento sedimentar por modelos empíricos

Os valores finais resultantes da aplicação dos métodos, apresentados neste capítulo foram normalizados e apresentados sob a forma de volume (m^3) representando o volume debitado por bacias de pequena dimensão, caudal específico ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{ano}^{-1}$) que representa o volume anual por unidade de área e valores de erosão específica anual ($\text{kg m}^{-2} \text{ano}^{-1}$) representando o peso de material erodido por unidade de área.

5.1.1. Langbein & Schumm

Inicialmente traça-se o respetivo valor de precipitação média anual da região (713 mm) em relação à curva de temperatura representativa para esta região (16°C) e de seguida converte-se em precipitação efetiva, utilizando a curva representativa da temperatura média anual padrão 10 °C (figura 21.b).

Este último valor é lançado em abcissas no gráfico do lado esquerdo para obter a produção específica média anual de sedimento (figura 21.a).

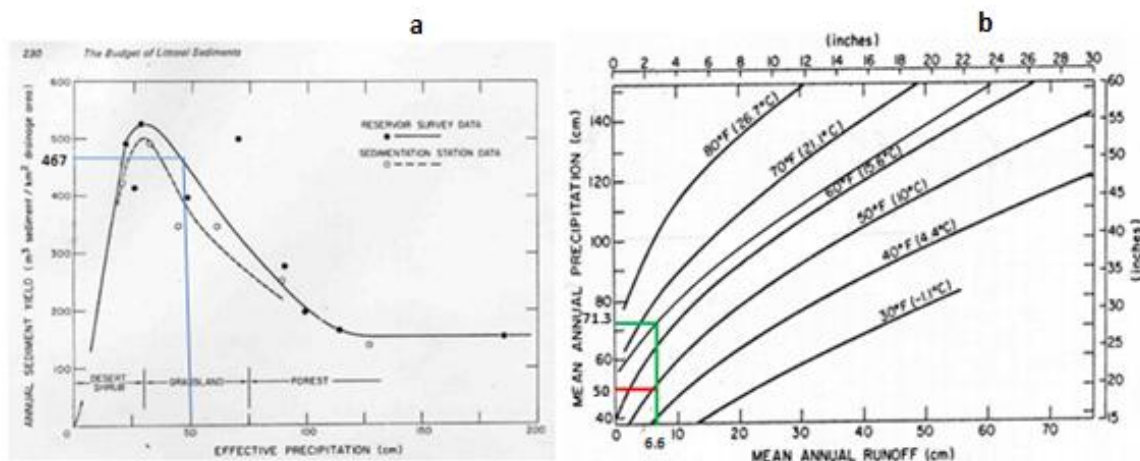


Figura 21. Aplicação da metodologia de Langbein & Schumm (1958).

Verificou-se que os valores de erosão específica calculados através dos ábacos da metodologia de Langbein & Schumm (1958), apresentam valores iguais, apenas

variando a sua magnitude na determinação do caudal específico e volume que consideram a área do local de estudo.

5.1.2. Teixeira & Andrade

O subclima Csa (verão quente) ocupa praticamente toda a região a sul do Tejo e o subclima Csb (verão fresco) estabelece-se essencialmente em toda a região norte do Vale do Tejo.

Dado o enquadramento do presente, estudo, utiliza-se a equação segundo a classificação climática Csa de Köppen):

$$Csa: PE = 1472 \times A^{-0.06} \times P^{2.82} m^3 km^{-2} ano^{-1},$$

Em que:

PE- Produção específica (erosão);

A- Área do local em estudo.

P- Precipitação média anual.

5.1.3. RUSLE

As variáveis correspondem a valores médios. Devido à escala de trabalho, verifica-se a necessidade de parametrizar algumas destas variáveis por forma a obter-se resultados mais rigorosos. A tabela 3. representa os valores das variáveis calculadas:

Variáveis RUSLE	Pequena bacia na praia das Bicas	Pequena bacia com barragem sedimentos na praia do rio da Prata
R	342	343
K	0.06	0.06
LS	7.12	4.30
C	0.1	0.2
P	1	1

Tabela 3. Variáveis RUSLE

No âmbito do presente trabalho abordaram-se os modelos empíricos, estabelecidos para bacias de grande dimensão de Langbein & Schumm (1958), Teixeira & Andrade (1997), e RUSLE (1997), tendo este último apresentado valores de erosão ($\text{kg m}^{-2} \text{ano}^{-1}$) dentro da mesma ordem de grandeza do estudo.

Os valores calculados para o coeficiente de correção sedimentar, que permitem a transformação de valores de erosão específica em caudal, através da metodologia proposta por Mitchell et al. (1980), traduziram-se em valores de retenção de sedimento elevados, não estando de acordo com o que se verifica no terreno (bacias de pequena dimensão geralmente bastante inclinadas $< 40\%$). Desta forma, o valor adotado para o coeficiente de correção sedimentar ("*Sedimentar Delivery Ratio*"), foi o valor 1, ou seja, considerou-se que todo o material erodido chega à sessão terminal da bacia.

5.2. Evolução topográfica com LiDAR terrestre

A transformação de um arquivo LAS em arquivo de dados matriciais necessita de um método de interpolação, que permite a definição dos valores atribuídos a cada célula.

Esta interpolação foi realizada pelo método das médias, que atribui um valor médio de todos os pontos que se encontram na extensão da célula. Como critérios adicionais, foi exigido ainda que as células que não contivessem informação, não fosse atribuído nenhum valor à célula, permitindo deste modo um tratamento dos dados mais fiável. Foram realizados cálculos para diferentes raios de pesquisa (0.1, 0.01, 0.2, 0.02, 0.5 e 0.05 m).

A determinação do volume sedimentar foi realizado com o auxílio de uma calculadora (ferramenta *Raster Calculator*), que permite a manipulação dos formatos matriciais. Através da seguinte operação, foi possível determinar o volume sedimentar por bacias de pequena dimensão:

$$\text{Volume (m}^3\text{)} = \sum [(\text{Raster}_1 - \text{Raster}_2) \times A]$$

Em que:

Raster 1 – Raster relativo ao primeiro levantamento com LiDAR Terrestre;

Raster 2- Raster relativo ao segundo levantamento com LiDAR Terrestre.

A - Área de cada célula.

Verificou-se a necessidade de criar uma malha que centrasse as células comuns aos dois levantamentos no processo, de interpolação das nuvens de pontos, uma vez que esta operação conduzia a resultados enviesados (figura 22.). Nesta malha, fez-se coincidir os centros espaciais das células comuns aos dois levantamentos, permitindo desta forma obter dados com maior precisão no processo de cálculo do volume.

Os resultados discriminaram os volumes relativos à acreção de material (valores negativos) e à erosão de material (valores positivos).

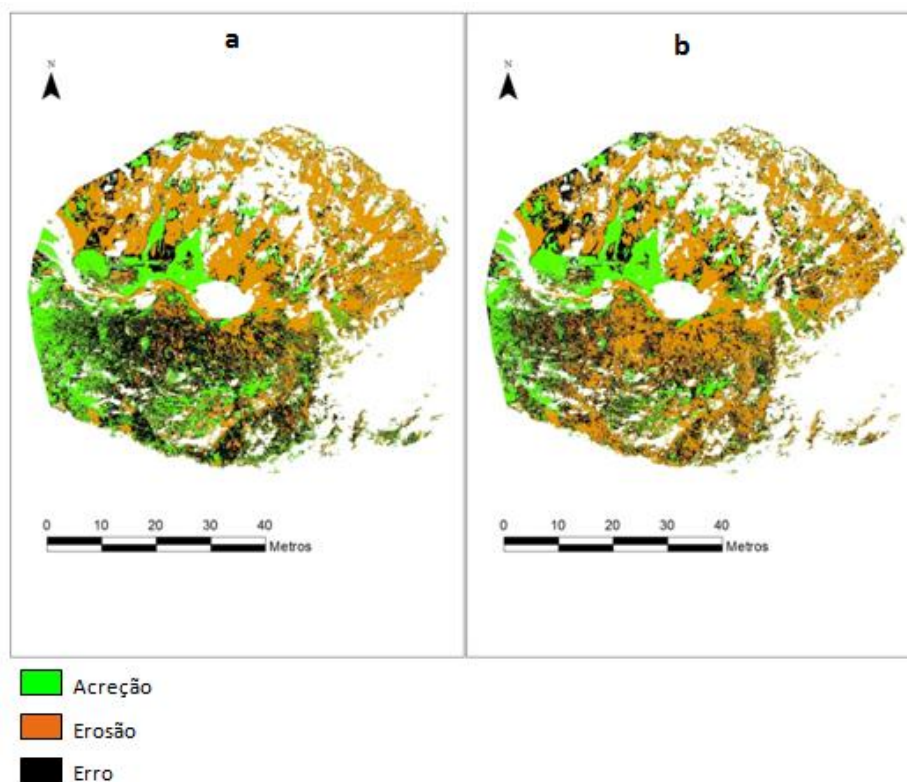


Figura 22. Bacia Bicas sem malhas centradas (a); Bacia Bicas com malhas centradas (b)

O procedimento descrito foi automatizado com o auxílio da ferramenta Model Builder disponível no ArcMap do software ArcGIS. 10.1 (figura 23.).

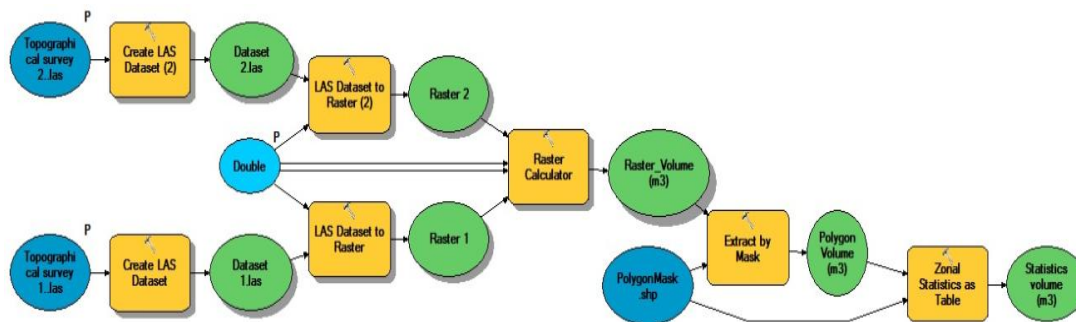


Figura 23. Programação em Model Builder. Determinação do volume.

Os resultados permitem observar maiores variações, concentram-se sobretudo no canal e na foz da pequena bacia (figura 24.).

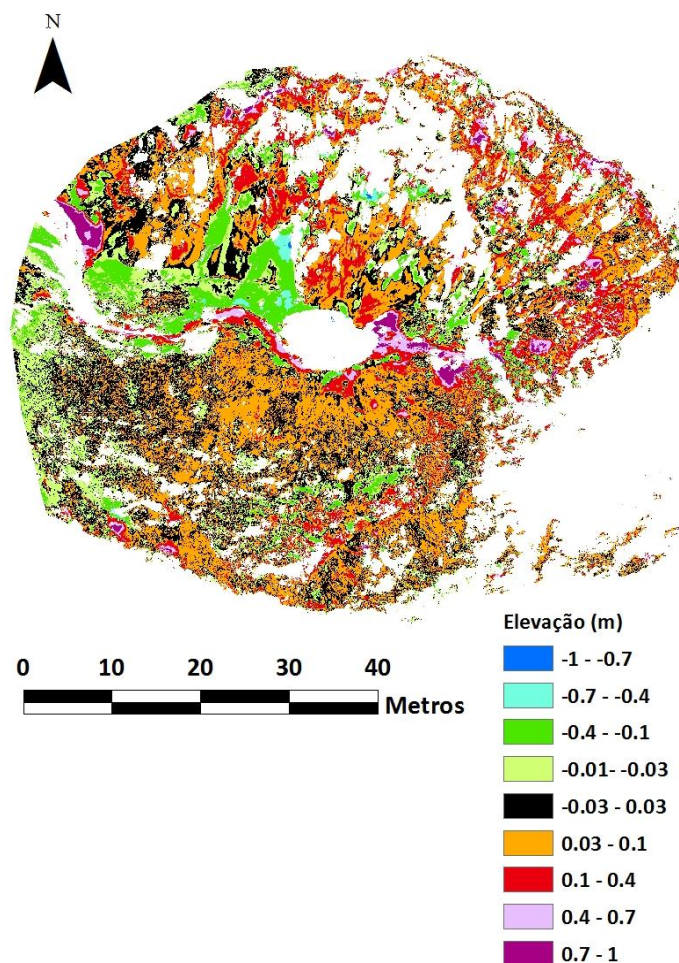


Figura 24. Variações verticais entre as duas superfícies levantadas na pequena bacia da praia das Bicas.

Estas arribas no período de monitorização encontravam-se em erosão em praticamente toda a área (figura 25. e figura 26.), devido sobretudo ao facto estarem expostas sem nenhuma vegetação.

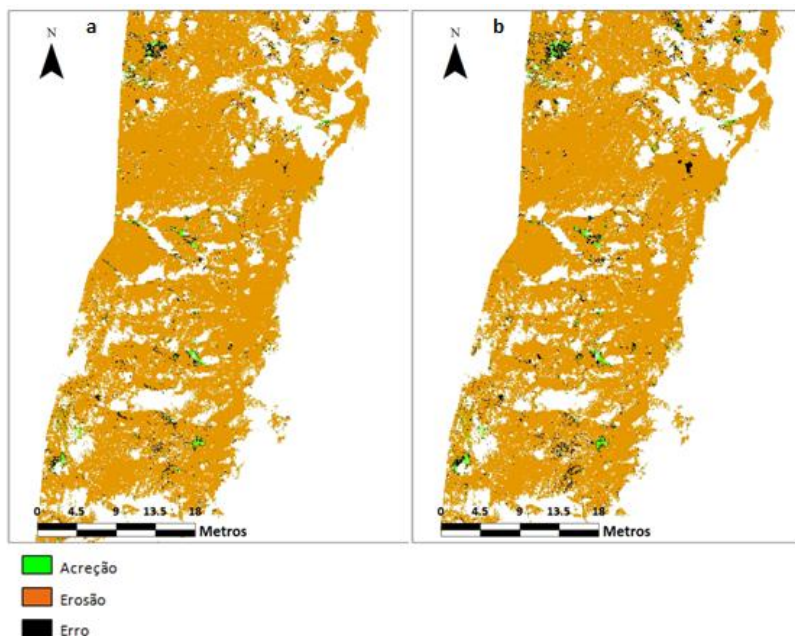


Figura 25. Arriba com pequenas bacias sem malha centrada (a) e com malha centrada (b).

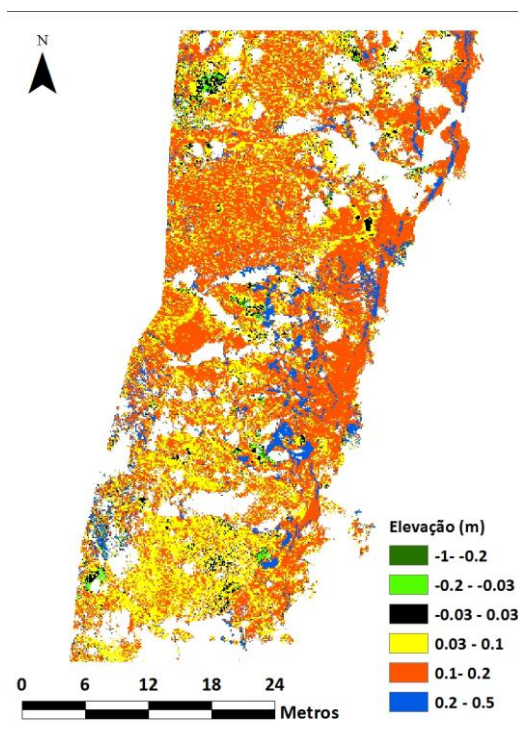


Figura 26. Variações de elevação entre as duas superfícies.

5.3. Fornecimento sedimentar através de métodos diretos

5.3.1. Avaliação da taxa de transporte sedimentar em depósitos de sopé

No decorrer das campanhas de campo efetuadas, observou-se um pequeno leque de areia pouco consolidada com diversos elementos antropogénicos inseridos no depósito. Na maior parte dos casos estes elementos correspondem a plásticos de diversa natureza, incluindo embalagens de produtos alimentares com data de validade. No âmbito deste trabalho foram descobertas duas embalagens de chocolate com data de validade preservada. Estes elementos possibilitaram a datação aproximada dos depósitos, permitindo estimar o volume de material sedimentar acumulado (mesoescala temporal) em pequenas bacias na praia do rio da Prata.

Efetuuou-se a medição da base do leque de areia com recurso ao DGPS e com o auxílio de observações de campo e do mapa de declives daquela zona, permitindo a delimitação da geometria do leque e consequente valor da área ocupada.

Com o conhecimento da área e com a informação das alturas a que se encontraram os elementos de plástico datados (figura 27. e figura 28.) obteve-se um valor estimado do volume e a sua taxa de sedimentação (tabela 5).



Figura 27. Camada onde foi recolhida uma embalagem de chocolate com indicação da data de validade (01-06-91).



Figura 28. Elemento antropogénico retirado do meio do leque de areia não consolidado (13-07-92).

No entanto, os resultados obtidos deverão ser encarados com precaução, uma vez que este leque poderá ter sofrido erosão anterior e, adicionalmente, o sedimento acumulado corresponde, necessariamente, apenas a uma parte do material sedimentar efetivamente produzido a montante.

5.3.2. Determinação do volume sedimentar através da estrutura de retenção

A construção da estrutura de retenção de sedimentos (barragem de sedimentos), instalada em 29 de outubro de 2014, permitiu a acumulação de material num período de aproximadamente 2 meses (figura 29). Posteriormente, no dia 17 de dezembro, foi retirado todo o sedimento retido nesta estrutura. Neste intervalo de tempo ocorreu uma elevada precipitação [Σ (mês outubro ao mês dezembro) = 459 mm correspondente a 38% da precipitação total, dados de precipitação do SNIRH (para a estação de Lisboa/G.Coutinho para o ano 2014)].



Figura 29. Barragem de sedimentos com acumulação de sedimentos (17 de dezembro, 2014).

O material (sedimento e água) foi colocado num balde (com tara conhecida) preenchido até ao topo, e pesado 4 vezes no terreno com o auxílio de uma balança. Obteve-se o valor de 12 kg em todas as 4 pesagens. Foram retirados um total de 17 baldes, perfazendo 204 kg de material. Adicionalmente foram recolhidas duas amostras (material + água), procedendo-se à sua pesagem no terreno, para determinação posterior, em laboratório, do peso seco do sedimento.

O peso seco do material acumulado na pequena bacia e parametrizado pelo peso específico aparente seco, das areias alaranjadas do Pliocénico ($\gamma_a = 1.38 \text{ ton m}^{-3}$), obteve o valor de volume efetivo debitado de 0.13 m^3 , no período de 2 meses.

Uma vez que se verificou no terreno que a retenção feita pela barragem tinha perdido a estanquidade, ocorrendo perda de sedimento, o valor experimental de caudal específico obtido por este método ($0.0014 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$) encontra-se subestimado. Por outro lado, visto que a precipitação ocorrida no intervalo de tempo monitorizado foi superior à média, a extrapolação para o caudal específico anual deverá encontrar-se sobrestimado.

Apesar das limitações referidas considera-se que o valor experimental fornece uma estimativa realista do caudal específico debitado por bacias de pequena dimensão, permitindo inclusive validar os restantes valores obtidos quer pelos modelos teóricos, quer pelo método do LiDAR terrestre. Nas estimativas para a determinação do caudal específico no arco Caparica- Espichel considerou-se que a este valor se associava uma incerteza com fator x2 (dobro ou metade).

Deste modo o método que mais se aproxima ao valor experimental efetivo é o obtido pelo modelo RUSLE. No entanto, foi necessário parametrizar as constantes do modelo à escala reduzida das bacias estudadas, constatando-se a elevada sensibilidade deste às variáveis consideradas.

5.4 Síntese de resultados

A determinação das variáveis: volume, caudal específico e erosão específica, foram obtidos de acordo com as fórmulas apresentadas abaixo:

$$Volume (m^3) = \frac{(Erosão Específica (ton m^{-2} ano^{-1}))}{1.38 ton m^{-3}} \times Área (m^2)$$

$$Caudal Específico (m^3 m^{-2} ano) = \frac{(Volume (m^3))}{Área (m^2)} \times tempo(ano)$$

Na tabela 4 é possível observar-se o volume, erosão e caudal específico obtidos para cada um dos métodos utilizados à mesma escala temporal (microescala). Nesta tabela os valores a cinzento correspondem a estimativas diretas obtidas pela aplicação dos métodos e os restantes valores (a branco) resultaram de cálculos adicionais.

Os valores resultantes da aplicação das metodologias à mesoescala temporal podem ser observados na tabela 5.

Locais	Método de Determinação	Volume m ³	Área m ²	Tempo	Caudal Específico (m ³ m ⁻² ano ⁻¹)	Erosão Específica (kg m ⁻² ano ⁻¹)
Pequena bacia na praia das Bicas	Langbein & Shumm	0.89	2621	1 ano	3.38E-04	4.67E-01
	Teixeira & Andrade	1.54	2621	1 ano	5.87E-04	8.10E-01
	RUSLE	2.77	2621	1 ano	1.06E-03	1.46E+00
	Método da média 0.1	0.91	2621	5 meses	8.34E-04	1.15E+00
	Método da média 0.01	0.003	2621	5 meses	2.47E-06	3.41E-03
	Método da média 0.2	2.21	2621	5 meses	2.02E-03	2.79E+00
	Método da média 0.02	0.02	2621	5 meses	1.63E-05	2.25E-02
	Método da média 0.5	3.62	2621	5 meses	3.31E-03	4.57E+00
Arriba na praia do rio da Prata	Método da média 0.05	0.17	2621	5 meses	1.56E-04	2.15E-01
	Método da média 0.1	0.09	2056	5 meses	1.03E-04	1.42E-01
	Método da média 0.01	0.0001	2056	5 meses	1.63E-07	2.25E-04
	Método da média 0.2	0.23	2056	5 meses	2.73E-04	3.76E-01
	Método da média 0.02	0.001	2056	5 meses	9.62E-07	1.33E-03
	Método da média 0.5	0.51	2056	5 meses	5.97E-04	8.23E-01
Pequena bacia na arriba da praia do rio da Prata	Método da média 0.05	0.01	2056	5 meses	7.68E-06	1.06E-02
	Pequena bacia com barragem	0.13	567	2 meses	1.37E-03	1.89E+00
	Langbein & Shumm	0.19	567	1 ano	3.38E-04	4.67E-01
	Teixeira & Andrade	0.36	567	1 ano	6.43E-04	8.88E-01
	RUSLE	0.73	567	1 ano	1.29E-03	1.78E+00

Tabela 4. Síntese de resultados sobre o fornecimento sedimentar por bacias de pequena dimensão. O valor assinalado é o valor que se utiliza para comparar com os resultados das metodologias utilizadas.

Local	Método de Determinação	Volume m ³	Área m ²	Tempo	Caudal Específico (m ³ m ⁻² ano ⁻¹)	Erosão Específica (kg m ⁻² ano ⁻¹)
Depósito de sopé (leque de areia)	Plástico datado 1991	157.09	20004	23 anos	3.41E-04	4.71E-01
	Plástico datado 1992	166.33	20004	22 anos	3.78E-04	5.22E-01

Tabela 5. Síntese de resultados de meso-escala espacial.

Extrapolção para o Arco Caparica-Espichel

Foi realizada uma estimativa (tabela 6.) do fornecimento sedimentar pelas pequenas bacias localizadas nas arribas de natureza arenosa do arco Caparica-Espichel (figura 30.), de natureza arenosa, com face externa contigua à praia e sem nenhuma barreira que interseje o transporte sedimentar para praia. Neste arco considera-se que as bacias que drenam para a costa apresentam uma distância média útil estimada de cerca de 500 m, entre a base da arriba e o limite terrestre da bacia (com base no trabalho elaborado por Lira et al., 2011). O valor do comprimento da arriba ao longo do arco apresenta 9000 m (valor baseado na cartografia no âmbito do trabalho elaborado por Marques, et al. (2013). A partir dos valores obtidos acima, estimou-se uma área útil de 4 500 000 m² que multiplicado pelos valores do caudal específico obtidos com subestimado pela passagem de sedimentos e sobrestimado pela



Figura 30. Delimitação da arriba de natureza arenosa no Arco Caparica-Albufeira

elevada precipitação que ocorreu no período analisado, variando entre $0.001 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ e $0.003 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$, obtém-se um valor estimado em m^3 para todo o arco.

Local	Volume m^3	Área m^2	Tempo	Caudal Específico ($\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)	Erosão Específica ($\text{kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)
Arco Caparica - Espichel	4.50E+03	4.50E+06	1 ano	1.00E-03	1.38E+00
	1.35E+04	4.50E+06	1 ano	3.00E-03	4.14E+00

Tabela 6. Síntese de resultados para a arriba arenosa do arco Caparica-Espichel.

CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES

A erosão hídrica das bacias de pequena dimensão constitui o principal processo de fornecimento sedimentar para as praias do arco Caparica-Espichel.

A aplicação dos modelos empíricos de previsão da erosão hídrica de Langbein & Schumm (1958), Teixeira & Andrade (1997) e RUSLE (1997), conduziu a resultados de erosão específica dentro da mesma ordem de grandeza: $0.47 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$, $0.81 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ e $1.46 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$; $0.47 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$; $0.89 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ e $1.78 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ respetivamente para a praia das Bicas e praia do Rio da Prata.

A construção de uma estrutura de retenção de sedimentos permitiu quantificação do volume sedimentar debitado por uma pequena bacia localizada nas arribas arenosas adjacente à praia do rio da Prata. Apesar das limitações associadas à determinação deste valor, nomeadamente o facto de se restringir a um período temporal de 2 meses e ter existido transposição da estrutura, considera-se que valor de caudal específico obtido, $1.37 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$, é o mais fiável para comparação com os valores das restantes metodologias.

Após validação com os valores experimentais conclui-se que o método empírico que melhor se aplica ao estudo de pequenas bacias é o método RUSLE (Renard, et al., 1997). O método de quantificação do fornecimento sedimentar por pequenas bacias através da análise da evolução topográfica por levantamentos com recurso LiDAR terrestre apresenta um elevado potencial, detetando variações de elevação na ordem do cm entre as duas superfícies levantadas por LiDAR terrestre. No entanto os resultados obtidos por esta metodologia ainda apresentam uma incerteza muito elevada devido à magnitude o “ruído” ser da mesma ordem de grandeza das variações topográficas observadas. Para ultrapassar esta limitação a monitorização deverá abranger um período de tempo mais alargado, da ordem dos vários anos.

A partir dos dados obtidos foi possível proceder a uma primeira estimação do fornecimento sedimentar debitado pelas bacias de pequena dimensão presentes nas arribas de natureza arenosa do arco Caparica – Espichel. A magnitude deste fornecimento foi avaliado na ordem da dezena de milhares de metros cúbicos ano, apresentando um valor entre $4.5 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ e $13.5 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$.

CAPÍTULO 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvares, M., & Pimenta, M. (1998). IV Congresso da Água, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.

Andrade, F., Taborda, T., Marques, F., Freitas, C., Antunes, C., Mendes, T., Carreira, D. (2008). Plano Estratégico do Concelho de Sintra face às Alterações climáticas. Zonas costeiras. Projeto SIAM-Sintra, p.62.

Arnott, R. (2009). Introduction to Coastal Processes and Geomorphology. Cambridge University Press, pp. 396-434.

Bastos, A. (2013). Aplicações de LiDAR terrestre ao estudo da morfodinâmica de praias encaixadas. Tese de Mestrado. FCUL, Lisboa.

Cardoso, J.L. (1984). A erosão de bacias hidrográficas e o assoreamento de albufeiras. Estudo de dois casos portugueses. Relatório 123/84-NP, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Caetano, M., A. Araújo, A. Nunes, V. Nunes e M. Pereira, (2009). Accuracy assessment of the CORINE Land Cover 2006 map of Continental Portugal, Technical Report, Instituto Geográfico Português.

Caetano, M., et al. (2009). Accuracy assessment of the CORINE Land Cover 2006 map of Continental Portugal, Technical Report, Instituto Geográfico Português.

Cruces, A., Lopes, I., Freitas, M., Andrade, C. (2001). Guia de Excursão Geologia no Verão. Parte II: Da Lagoa de Albufeira a Setúbal. Agência Ciência Viva; Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da UL.

Flanagan, D.C., & M.A. Nearing. (1995). USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP) Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. NSERL Report No. 10, National Soil Erosion Research Laboratory, USDA-Agricultural Research Service, West Lafayette, Indiana.

Flanagan, D., Gilley, J., Franti, T. (2007). Water Erosion Prediction Project (WEPP): Development History, Model Capabilities and Future Enhancements. American Society of Agricultural and Biological Engineers. Vol. 50, pp. 1603-1612.

Fournier, F (1960)- Climat et erosion: la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Presses Universitaires de France. Paris, pp. 201.

Heritage, G. L., & Large, A. R. (2009). Laser Scanning for the Environmental Sciences. Wiley- Blackwell.

James, M.R. & Quinton, J. N. (2014), Ultra-rapid topographic surveying for complex environments: the hand-held mobile laser scanner (HMLS). Earth Surf. Process. Landforms, 39: 138–142. doi: 10.1002/esp.3489

Komar, P. (1976). Beach processes and sedimentation. Prentice Hall, Cap. 9, pp. 227-248.

Koppen, W. (1936). Das geographische System der Klimate. Handbuch der Klimatologie, editado por Koppen, W., Geiger.

Kemeny, J., & Turner, K. (2008). Ground-Based LiDAR- Rock slope mapping and assessment

Kinnell, P. (2010). Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: A review, vol. 385, pp. 384-397.

Kouli, M., Soupios, P., Vallianatos, F. (2008). Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. Institute of Natural Resources and Natural Hazards, Center of Technological Research of Crete (CTRC), Greece.

Kullberg, J., Terrinha, P., Pais, J., Reis, R., Legoinha, P. (2006). Arrábida e Sintra: Dois exemplos de Tectónica Pós-Rifting da Bacia Lusitaniana. In Geologia de Portugal no contexto da Ibéria (R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha & J. C. Kullberg, Eds.). Univ. Évora, pp. 369.

Lague, D., Brodu, N., Leroux, J. (2013). Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: application to the Rangitikei canyon (N-Z). pp.28.

Langbein, W., & Schumm, S. (1958). Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. Transactions, American Geophysical Union, vol. 39, no. 6, pp. 1076-1084.

Lira, C., Taborda, R., Andrade, C. (2011). Entregável 1.1.2.b Estimativas de descarga sólida fluvial potencial. Relatório técnico projeto de implementação de um sistema de monitorização no litoral abrangido pela área de jurisdição da administração hidrográfica do Tejo. FFCUL- APA, I.P., Lisboa, Junho 2013. Pp.22

Lira, C., Taborda, R., Carapuço, A., Andrade, C. (2012). Adding a temporal dimension to the RUSLE model: application to the portuguese west coast, Centro de Geologia da Universidade de Lisboa; Instituto Dom Luiz; Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Marques, F., Penacho, N., Queiroz, S., Sousa, H., Silveira, T., Matildes, R., Redweik, P., Garzón, V., Bastos, A., Diogo, Z., Taborda, T., Andrade, C., Freitas, M. (2013). Entregável 1.2.1.a Caracterização das principais unidades geológicas e da organização geomorfológica da faixa costeira. Relatório técnico projeto de implementação de um sistema de monitorização no litoral abrangido pela área de jurisdição da administração hidrográfica do Tejo. FFCUL- APA, I.P., Lisboa. pp.36.

Manuppella, G., Antunes, M.T., Pais, J., Ramalho, M.M., & Rey, J. (1999). Notícia explicativa da Folha 38-B (Setúbal). Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000 (1994). Instituto Geológico e Mineiro, Departamento de Geologia, Lisboa, 143 p.

Mukhtar, M., Dunger, V., Merkel, B. (2014). Runoff and sediment yield modeling by means of WEPP in the Bautzen dam catchment, Germany. Environment Earth Sciences. Vol 72, issues 6, pp 2051-2063, doi:10.1007/s12665-014-3113-0

Morgan, R. P. C., Quinton, J. N., Smith, R. E., Govers, G., Poesen, J. W. A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D. and Styczen, M. E. (1998), The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. Earth Surf. Process. Landforms, 23: 527–544, doi: 10.1002/(SICI)1096- 9837(199806)23:63.O.CO;2-5.

Oliveira, L., (2009). Estudo Morfodinâmico e Sedimentar das Praias do Concelho de Sintra. Tese de Mestrado. FCUL, Lisboa.

Pandey, A., Chowdary, V., Mal, B., Billib, M. (2007). Runoff and sediment yield modeling from a small agricultural watershed in India using the WEPP model. *Jornal of Hydrology* Elsevier Vol 348, issues 3-4, pp.305-319, doi:10.1016/j.jhydrol.2007.10.010.

Pieri, L., Bittelli, M., Wu, J., Dun, S., Flanagan, D., Pisa, P., Ventura, F., Salvatorelli, F. (2006). Using the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model to simulate field-observed runoff and erosion in the Apennines mountain range, Italy. *Journal of Hydrology*, vol 336, issues 1-2, pp.84-97, doi:10.1016/j.jhydrol.2006.12.014.

Petermans, T. (2011). Comparative study of airborne, mobile and static LIDAR for beach monitoring. *Blast Conference - Closing the Gap*. Ostend, Belgium.

Pimenta, M. (1998). Diretrizes para a aplicação da equação universal de perda dos solos em SIG, INAG/DSRH.

Raclot, D., Albergel, J. (2006). Runoff and water erosion modelling using WEPP on a Mediterranean cultivated catchment. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, vol 31, issue 17, pp. 1038-1047. doi:10.1016/j.pce.2006.07.002.

Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., Yoder, D. C. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), *Agriculture Handbook* nº 703.

Rosser, N. J., Petley, D. N., Lim, M., Dunning, S. A., & Allison, R. J. (2005). Terrestrial laser scanning for monitoring the process of hard rock coastal cliff erosion. *Department of Geography, University of Durham*, U. K.

Silva, V. (2009). Evolução da ocupação e da perda de solo numa pequena sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Sado. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Silva, M., Patrício, P., Mariano, A., Morais, M. (2012). Obtenção de dados Geográficos de Base para as zonas costeiras de Portugal Continental. *Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, INAG, I.P. & IGP*.

Silveira, T., Guimarães, H., Sousa, H., Taborda, R., Andrade, C. (2013). Entregável 2.1.a. Rede de pontos de apoio da Costa da Caparica. Relatório técnico projeto de implementação de um sistema de monitorização no litoral abrangido pela área de

jurisdição da administração hidrográfica do Tejo. FFCUL- APA, I.P., Lisboa, Junho 2013.
Pp.36

Sobreira, F.G. & Marques, F.M.S.F, (1994). The relevance of sea cliff retreat assessment in hazard estimation: an example in the western coast of Portugal. 7th. Int. Cong of the I.A.E.G., 5-9 Sept. 1994, Lisbon. Proc., v. 4, p. 3119-3123, A. A. Balkema.

Taborda, R., Andrade, F.C., Silva, N.A., Silveira, M.T., Lira, C., Freitas, C. M., Pinto, C. (2014 – in press) Modelo de circulação sedimentar litoral no arco Caparica-Espichel. IX Congresso Nacional de Geologia. Volume Especial das Comunicações Geológicas, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.

Taborda, R., Andrade, C., Marques, F., Freitas.C.M, Rodrigues, R., Antunes, C., Pólvora, C. (2010). Plano Estratégico de Cascais face às alterações climáticas. Setor zonas costeiras. pp.50.

Teixeira, S. (1990). Dinâmica das Praias da Península de Setúbal (Portugal). Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Mestre.

Teixeira, S. & Andrade, C. (1997). Quantificação da erosão hídrica em Portugal Continental. Recursos Hídricos, vol. 18 (1), pp. 25-44.

Terranova, O., Antronico, L., Coscarelli, R., Laquinta, P. (2009). Soil Erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: An application model for Calabria (southern Italy). National Research Institute for Geo-Hydrologic Protection, Via Cavour 4-6, 87036 Rende, Italy. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), <http://snirh.apambiente.pt>, acedido a 2/07/2014.

Trimble. (2007). GPS- The First Global Navigation Satellite System. Trimble Navigation Limited. pp.79.

Tomás, P. P., (1993). Erosão hídrica dos solos em pequenas bacias hidrográficas – Aplicação da Equação Universal de Degradação dos Solos. Publicação CEHIDRO nº 7, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Wischmeier & Smith. (1965), Rainfall-Erosion Losses From Cropland East of the Rocky Mountains, Guide for Selection of Practices for soil and Water Conservation, U.S. Department of Agriculture in cooperation with Agricultural Experiment Station, Agriculture Handbook nº. 282.

Zachar, D. (1982). Soil erosion, Developments in soil science, Volume 10. Elsevier, 547p.

ANEXOS

Anexo A. Observações complementares

A.1. Praias no domínio da ARH (Costa da Caparica)

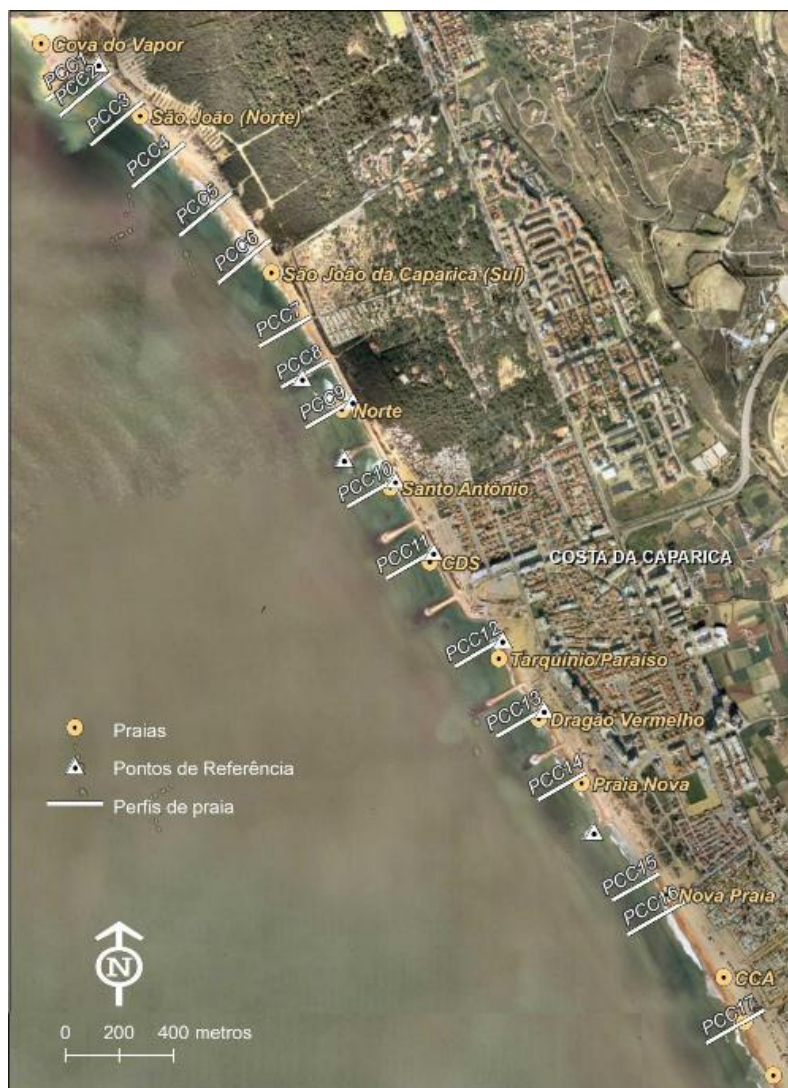


Figura A.1. Localização das praias onde foram retirados os sedimentos para análise das suas características texturais. Dados cedidos ARH (Silveira, 2013)

Anexo A.2. Sedimentologia

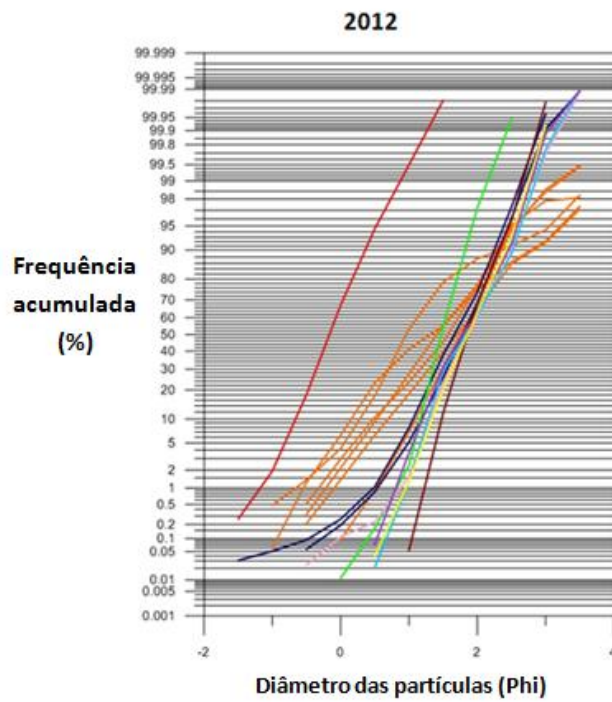
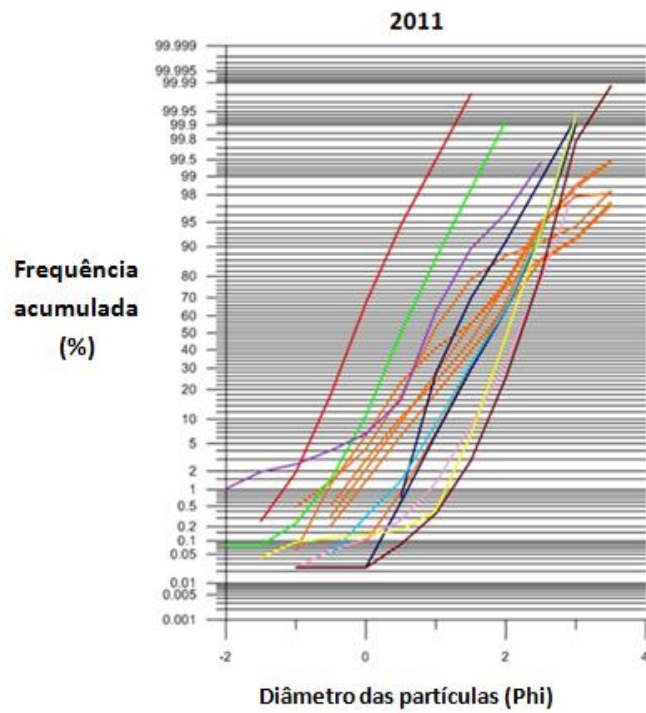
Amostras:	Areia alaranjada praia das Bicas (arriba)	Areia alaranjada praia das Bicas (arriba)	Areia alaranjada praia das Bicas (arriba)	Caudal sólido da pequena bacia da praia das Bicas	Arenito argiloso praia do Penedo (arriba)	Areia alaranjada praia do Penedo (arriba)	Depósito de sopé (leque de areia alaranjada) na praia do rio da Prata	Areia da pequena bacia com barragem de sedimentos, praia do rio da Prata
Peneiros	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00
-2	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.12
-1.5	0.00	0.06	0.00	0.12	0.00	0.00	0.47	0.10
-1	0.33	1.16	0.53	0.52	0.94	0.20	0.88	0.55
-0.5	1.86	4.96	2.49	1.8	2.92	1.13	2.75	1.81
0	7.25	16.33	7.76	5.23	1.82	4.75	13.09	7.41
0.5	18.60	17.58	13.29	16.49	3.92	11.51	34.76	22.45
1	28.24	13.89	22.25	29.38	8.13	20.13	24.75	31.06
1.5	20.44	21.52	32.00	21.42	9.71	24.24	8.55	20.16
2	11.24	17.23	18.03	11.05	9.01	19.76	3.56	10.36
2.5	5.77	2.62	4.51	6.36	11.52	5.84	3.16	6.46
3	5.33	0.21	0.89	4.02	25.20	5.01	3.82	5.82
3.5	2.65	1.87	0.53	2.75	12.51	2.76	1.69	2.52
4	101.71	97.43	102.28	99.14	85.68	95.33	97.48	108.82
Total	1.50	1.26	1.49	1.53	2.51	1.69	1.07	1.48
Diâmetro médio (MZ):	0.86	0.84	0.72	0.83	1.08	0.81	0.79	0.86
Grau de dispersão (s1):	0.20	-0.09	-0.17	0.19	-0.45	0.03	0.32	0.23
Assimetria (SKI):	1.16	0.77	1.04	1.22	0.90	1.12	1.56	1.16
Curtose (KS):	1.25	1.75	1.75	1.25	3.25	1.75	0.75	1.25
Moda:	1.41	1.31	1.57	1.44	2.78	1.70	0.96	1.36
Mediana:	Areia média	Areia média	Areia média	Areia média	Areia fina	Areia média	Areia média	Areia média
Conclusões do método gráfico:	Moderadamente calibrado	Moderadamente calibrado	Moderadamente bem	Moderadamente calibrado	Moderadamente calibrado	Moderadamente calibrado	Moderadamente bem calibrado	Moderadamente calibrado
	Assimetria positiva	Simétrica	Assimetria negativa	Assimetria positiva	Assimetria muito negativa	Simétrica	Assimetria muito positiva	Assimetria positiva
	Leptocúrtica	Platicúrtica	Mesocúrtica	Leptocúrtica	Platicúrtica	Leptocúrtica	Muito leptocúrtica	Leptocúrtica

Figura A.2.1. Dados obtidos através das granulometrias efetuadas com as amostras da berma e face praia recolhidas nas saídas de campo realizadas.

Amostras:	Face Praia das Bicas (16/07/2014)	Berma da praia das Bicas (16/07/2014)	Face de praia raia das Bicas (29/10/14)	Berma da raia das Bicas (29/10/14)	Face Praia das Bicas (17/12/2014)	Berma da praia das Bicas (17/12/2014)	Face de praia da Foz (17/12/14)
Peneiros (Phi)	0.00	0.47	0.00	1.79	0.00	0.35	0
-2	0.27	5.42	0.34	3.09	0.04	1.71	0.1
-1.5	1.74	12.77	1.38	15.21	0.17	6.84	0.34
-1	16.89	16.84	7.77	34.46	2.49	20.03	4.01
-0.5	51.04	25.99	16.85	25.33	9.07	27.90	33.97
0	28.40	26.27	30.21	17.36	23.10	28.60	57.51
0.5	5.14	14.24	38.25	10.81	51.76	17.14	5.59
1	0.51	1.90	10.95	1.82	18.88	2.39	0.12
1.5	0.02	0.15	0.40	0.07	0.86	0.10	0.02
2	0.00	0.05	0.09	0.01	0.03	0.06	0.01
2.5	0.00	0.03	0.07	0.00	0.00	0.25	0
3	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.24	0
3.5	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.17	0
4	104.01	104.14	106.37	109.95	106.40	105.78	101.67
Total	-0.15	-0.25	0.37	-0.41	0.62	-0.09	0.06
Diâmetro médio (MZ):	0.40	0.74	0.56	0.68	0.46	0.65	0.30
Grau de dispersão (s1):	0.03	-0.14	-0.22	0.15	-0.21	-0.06	-0.11
Assimetria (SKI):	1.07	0.91	1.00	0.97	1.11	0.92	1.05
Curtose (KS):	-0.25	0.25	0.75	-0.75	0.75	0.25	0.25
Moda:	-0.16	-0.18	0.45	-0.49	0.67	-0.07	0.08
Mediana:	Areia muito grosseira	Areia muito grosseira	Areia grosseira	Areia muito grosseira	Areia grosseira	Areia muito grosseira	Areia grosseira
Conclusões do método gráfico:	Bem calibrado	Moderadamente bem calibrado	Moderadamente bem calibrado	Moderadamente bem calibrado	Bem calibrado	Moderadamente bem calibrado	Muito bem calibrado
	Simétrica	Assimetria negativa	Assimetria negativa	Assimetria positiva	Assimetria negativa	Simétrica	Assimetria negativa
	Mesocúrtica	Mesocúrtica	Mesocúrtica	Mesocúrtica	Leptocúrtica	Mesocúrtica	Mesocúrtica

Figura A.2.2. Dados de berma e face de praia das Bicas.

A comparação foi realizada para mesma época sazonal.



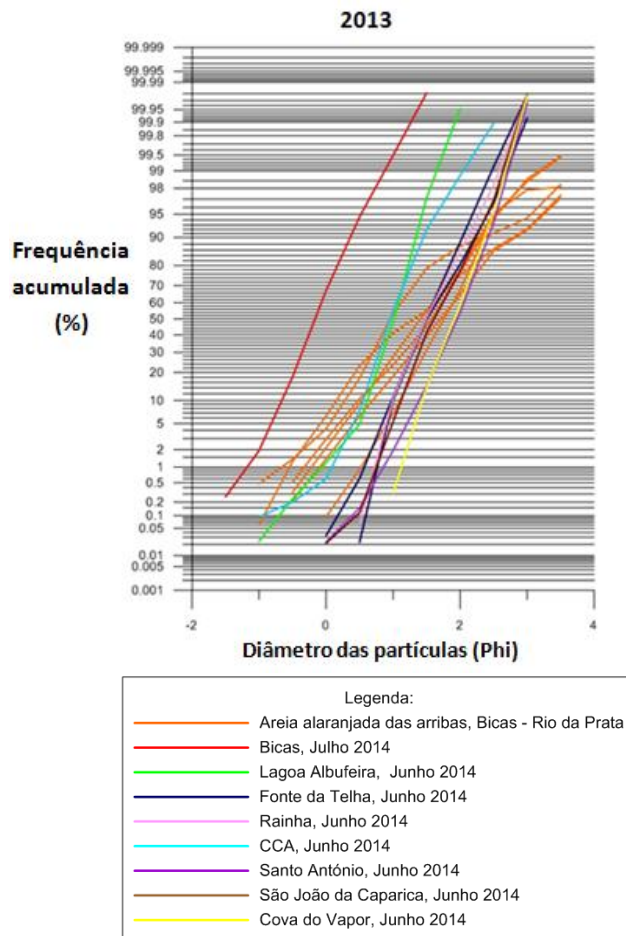
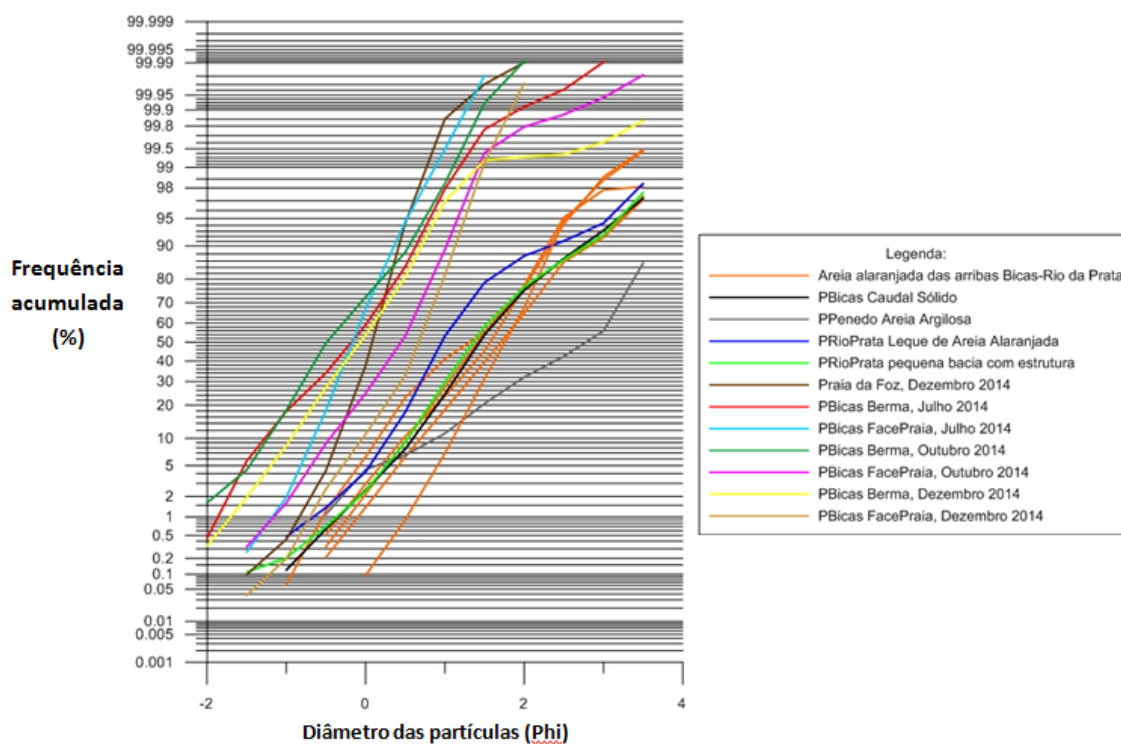


Figura A.2.3. Análise textural de sedimentos.

Como se observar através da análise dos gráficos das curvas de distribuição acumuladas, existe uma tendência geral, no espectro granulométrico das areias da face praia, no sentido de sul para norte, com uma diminuição do diâmetro médio (D50 menor) e melhoria da calibração das areias (desvio padrão menor ou seja declive da reta maior). As exceções pontuais a esta tendência geral, observadas no ano 2011 e 2013, no caso da praia de Santo António e Praia CAA respetivamente, devem-se sobretudo a características de dinâmicas pontuais naquele período em que foram recolhidas as amostras. A praia da Lagoa de Albufeira apresenta um diâmetro médio mais grosseiro devido à captação de elementos terrígenos de maior dimensão contribuintes com sedimentos para a praia

Relativamente às amostras recolhidas na área de estudo verifica-se duas populações. As amostras recolhidas na arriba caracterizam-se, quanto ao diâmetro,

como areias médias e relativamente ao seu desvio padrão como moderadamente calibradas, ao contrário das areias da face e berma de praia que se caracterizam como areias muito grosseiras bem calibradas a moderadamente bem calibradas



Anexo A.2.4. Análise textural das amostras da face das praias descritas na legenda e areias das arribas do troço estudado.

Os sedimentos das arribas do troço estudado (Bicas – rio da Prata), apresentam um diâmetro médio dentro da mesma ordem que o diâmetro das praias localizadas a norte, caracterizando-se como areias médias.

Através do conhecimento da resultante da deriva litoral neste local (Taborda, 2014) para norte, pode-se afirmar que, os sedimentos das arribas do troço estudado no terreno fornecem sedimentos para as praias a norte.

Foi também avaliada a evolução do sistema de praia através análise de 3 perfis de praia que podem ser observados na figura A.1.5.

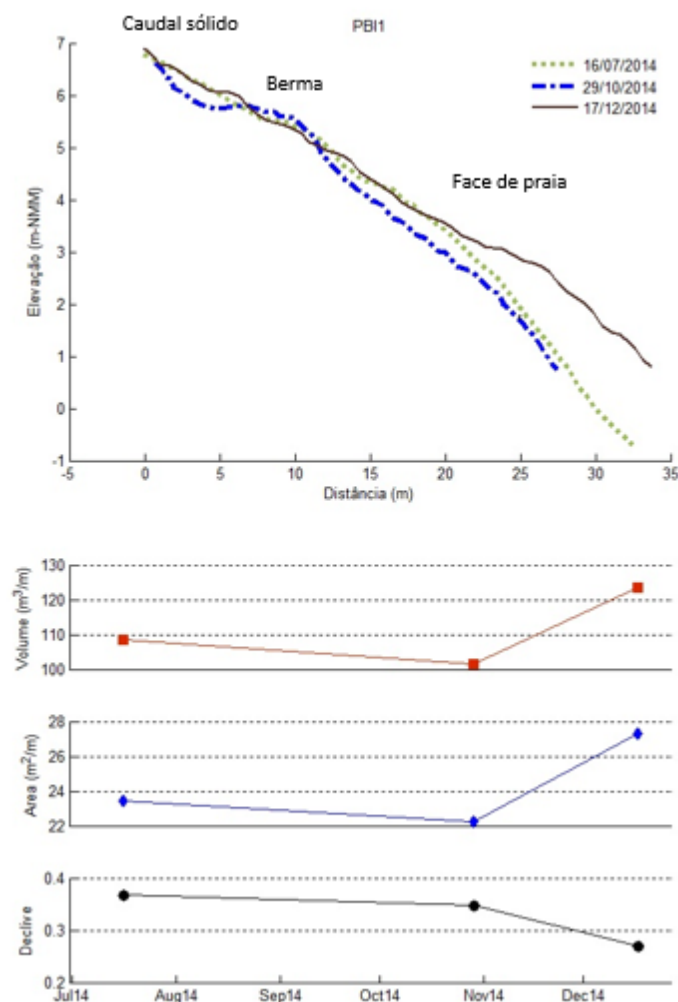
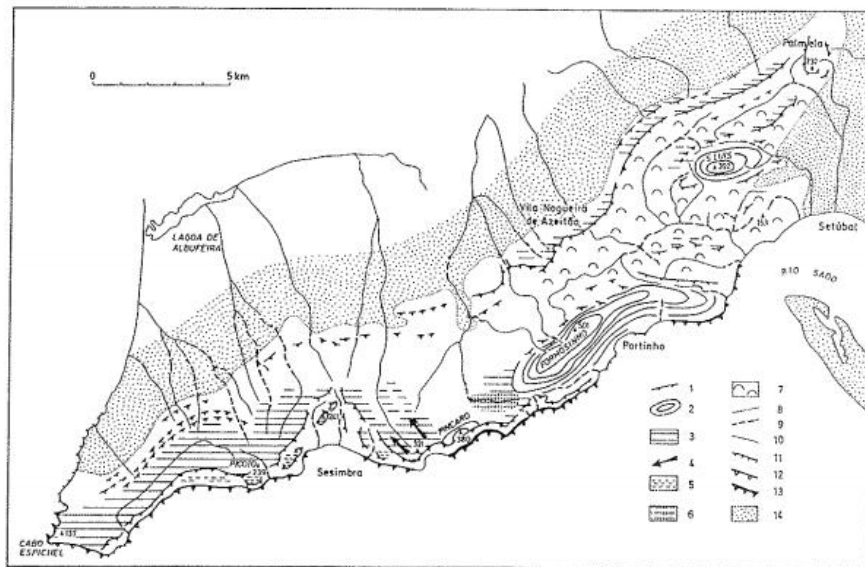


Figura A.2.5. Evolução do sistema de praia com monitorização por DGPS.

Comparativamente ao primeiro perfil realizado em julho verifica-se que a zona contígua à foz, com fornecimento de caudal sólido para a praia, sofreu erosão em outubro tendo voltado a acrecionar material até dezembro; relativamente à berma esta cresceu em Outubro tendo sido erodida nos meses seguintes até dezembro; verifica-se que a face de praia sofreu alguma erosão até ao mês de outubro tendo ocorrido uma grande acreção de material da face de praia até dezembro.

Anexo B. Enquadramento da área de estudo



Esboço morfológico da Arrábida. 1: Rebordo monoclinal em rocha dura; 2: monte anticlinal; 3: aplanção principal a cerca de 200 m; 4: arrebite da aplanção; 5: rechãs litorais embutidas; 6: depressão cársica; 7: colinas arredondadas; 8-9: vale (8: de forma larga, 9: encaixado); 10-13: litoral (10: costa arenosa, 11: arriba com menos de 100 m, 12: com 100-200 m, 13: com mais de 200 m); 14: área baixa periférica. Extraído de S. DAVEAU, O. RIBEIRO, H. LAUTENSACH, *Geografia de Portugal, I. A Posição Geográfica e o Território*. Edições João Sá da Costa, Lisboa, 1997, Fig. 39; segundo O. RIBEIRO, "Excursão à Arrábida", *Finisterra*, 6, Lisboa, 1968.

Figura B.1. Esboço geomorfológico extraído de Manuppella, 1999.

Anexo C. Campanhas de campo



Figura C.1. Formas de erosão típicas nas arribas de natureza essencialmente arenosa no local estudado: escorregamento de massa de vertente e pequenas bacias de drenagem.



Figura C.2. Erosão diferenciada. Talhando litologias mais antigas do Miocénico na base.

Anexo D. Equipamentos de Levantamento terrestre

Anexo D.1

LiDAR terrestre

Date	Machine	Emphasis	Data collection rate
Pulse scanning			
1998	Leica Cyrax 2400	Long range, high precision	100 points sec ⁻¹
2001	Leica Cyrax 2500	Long range, high precision	1000 points sec ⁻¹
2005	Trimble GX	Short range	5000 points sec ⁻¹
2004	Leica HDS3000	Long range, high precision	2000 points sec ⁻¹
2006	Leica ScanStation	Long range, high precision	4000 points sec ⁻¹
2006	Optech ICRIS-3D	Long range (up to 1500 m)	2500 points sec ⁻¹
2006	Optech CMS	Short range	100,000 points per survey max.
2007	Leica ScanStation 2	Long range, high precision	50,000 points sec ⁻¹
2007	Riegl LMSZ390i	Short range	Up to 11,000 points sec ⁻¹
2007	Riegl LMSZ420i	Long-range	11,000 points sec ⁻¹
2007	Riegl LMSZ210ii	Short-range	Up to 10,000 points sec ⁻¹
Phase scanning			
2004	Leica HDS4500	Short range, high speed	250,000 sec ⁻¹
2006	Leica HDS6000	Short range, high speed	500,000 points sec ⁻¹

Figura D.1. Exemplo da evolução dos equipamentos de laser a scanner terrestre disponíveis desde 1998, extraído de Heritage & Large, 2009.

Anexo D.2

DGPS

TYPICAL GPS RANGING ERRORS			
Error Source	Autonomous GPS	Differential GPS	RTK
User Range Errors (URE)			
SYSTEM ERRORS			
Ephemeris Data	0.4 – 0.5m	Removed	Removed
Satellite Clocks	1–1.2m	Removed	Removed
ATMOSPHERIC ERRORS			
Ionosphere	0.5 – 5m	Mostly Removed	<i>Almost All Removed</i>
Troposphere	0.2m – 0.7m	Removed	Removed
<i>Subtotals</i>	<i>1.7–7.0m*</i>	<i>0.2–2.0m</i>	<i>0.005–0.01m</i>
User Equipment Errors (UEE)			
Receiver	0.1–3m	0.1–3m	<i>Almost All Removed</i>
Multipath	0–10m	0–10m	<i>Greatly Reduced</i>

* Ephemeris and clock errors are somewhat correlated and typically total less than the sum of the errors for each.

Figura D.2. Erros típicos associados ao GPS (Global Navigation Satellite System), retirado do Trimble 2007

Anexo E. Parametrização dos valores RUSLE

Classificação F.A.O. Escala 1:1 000 000		Classificação S.R.O.A. Escala 1:25 000		VALOR DE ERODIBILIDADE
Nome	Código	Nome	Código	
	RO	Afloramentos rochosos		0.00
Fluvissois	Jc	Aluviossois Antigos Calcários	Atlc, Atc, Atac	0.41
	Je	Aluviossois Antigos Não Calcários	Atl, At, Ata	0.19
	Jc	Aluviossois Modernos Calcários	Alc, Ac, Aac	0.44
	Jd, Je	Aluviossois Modernos Não Calcários	Al, A, Aa	0.26
Luvisssois	Lo	Argiluviossois Poco Insaturados (Atlânticos)	Med, Pard, Verm, Am	0.30
Vertisssois	Vc	Barros Castanho-Avermelhados	Ch, Bvc, Cpv, Che	0.34
	Vp	Barros Pretos	Bp, Bpc, Cp, Cpc	0.32
Cambisssois	Bkv	Calcários Pardos Para-Barros	Pc'	0.30
	Bk	Calcários Pardos, Normais	Pc, Pcg, Pcr, Pcs,	0.32
	Bcc	Calcários Vermelhos, Normais	Pes, Pte, Pcl, Re	
	Bcv	Calcários Vermelhos Para-Barros	Vac, Vc, Vcr, Vcs,	0.36
			Vct, Vcx	0.33
Luvisssois	Lg	Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Solos Argiluviossois Poco Insaturados	Pb, Sag	0.36
Cambisssois	Bh	Litolitos Húmicos	Mss, Mnx	0.32
	Bhc	Litolitos Húmicos Vermelhos		0.32
	Bd, Be	Litolitos Não Húmicos	Par, Pg, Pgs, Pgm, Ppg	0.31
	Bc	Litolitos Não Húmicos (Vermelhos)	Psn, Pt, Vf, Vts, Vt	
Litosssois	Id, Ie	Litossois	Ed, Ee, Ed, Eg, Egn, Ep	0.39
	Ie	Litossois de Climas Sub-húmidos e Semáridos	Eq, Eis, Eic, Et, Ex	
	Ie	Litossois de Climas Sub-húmidos e Semáridos (de rochas ultrabásicas)	Idem	0.39
Luvisssois	Lo	Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários, Normais	Pgn, Ppx, Pmg, Px	0.29
	Lv	Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários Para-Barros	Pm	0.23
	Lga, Lg	Mediterrâneos Pardos de Materiais Não Calcários, Para Solos Hidromórficos	Pag, Paga, Pdg, Pmh, Ppm	0.26
	Lo	Mediterrâneos Pardos de Materiais Calcários, Normais		0.34
	Lkv	Mediterrâneos Pardos de Materiais Calcários, Para-Barros	Pac, Pbc	0.31
	Lkg	Mediterrâneos Pardos de Materiais Calcários, Para-Hidromórficos	Pdc	0.32
	Lrk, Lcr, Lf	Mediterrâneos Vermelhos de Materiais Não Calcários, Normais	Vgn, Pv, Vx, Pvx, Vtc, Sr	0.32
	Lp	Mediterrâneos Vermelhos de Materiais Não Calcários, Com Materiais Lateríticos	Sr*	0.31
	Lrk	Mediterrâneos Vermelhos de Materiais Calcários, Normais	Vcc, Ved, Pvc, Vcv, Scv	0.38
	Lrv	Mediterrâneos Vermelhos de Materiais Calcários, Para-Barros	Vcm	0.19
Planosssois	We	Planosssois	Ps	0.25
Podzsis	Po	Podzsis Com e Sem Surraipa	Pz, Ppt, Ppr, Ap	0.28
	Pg	Podzsis Hidromórficos Sem Surraipa	Aph	0.51
	U	Rankers		
Regosssois	Rc	Regosssois Psamíticos	Rg	0.06
	Rd	Regosssois Psamíticos	Idem	0.06
	Re	Regosssois Psamíticos	Idem	0.06
Solonchaks	Zg	Salinos de Salinidade Moderada ou Elevada	Asl, Aslc, As, Asc, Assa,	0.18
			Asac - Assl, Asslc, Ass,	
			Assc, Assa, Assac	

Figura.E.1. Relação entre o sistema de classificação de solos do S.R.O.A e o sistema de classificação de solos da F.A.O e respetivo valor de erodibilidade (K), retirado de Pimenta. (1998).

DESCRIÇÃO	FactorC
3- Floresta	0,1
3.1- Folhosas	0,1
3.1.1- Sobreiro	0,1
3.1.2- Azinheira	0,1
3.1.3- Castanheiro bravo	0,1
3.1.4- Castanheiro manso	0,1
3.1.5- Carvalho	0,1
3.1.6- Eucalipto	0,2
3.1.7- Outras folhosas	0,1
3.2- Resinosas	0,05
3.2.1- Pinheiro bravo	0,05
3.2.2- Pinheiro manso	0,05
3.2.3- Outras resinosas	0,05
3.3- Povoamento florestal misto (Folhosas + Resinosas)	0,05
4- Meios semi-naturais	0,3
4.1- Ocupação arbustiva e herbácea	0,02
4.1.1- Pastagens naturais pobres	0,05
4.1.2- Vegetação arbustiva baixa- matos	0,02
4.1.3- Vegetação esclerofítica- carrascal	0,02
4.1.4- Vegetação arbustiva alta e floresta degradada ou de transição	0,1
4.2- Áreas descobertas sem ou com pouca vegetação	0,4
4.2.1- Praia, dunas, areais e solos sem cobertura vegetal	0,05
4.2.2- Rocha nua	0,01
4.3- Zonas incendiadas recentemente	0,5
5- Meios aquáticos	0,005
5.1- Zonas húmidas continentais	0,005
5.1.1- Zonas pantanosas interiores e paúls	0,005
5.2- Zonas húmidas marítimas	0,005
5.2.1- Sapais	0,005
5.2.2- Salinas	0,005
5.2.3- Zonas intertidais (entre marés)	0,005
6- Superfícies com água	0
6.1- Áreas continentais	0
6.1.1- Cursos de água	0
6.1.2- Lagoas e albufeiras	0
6.2- Águas marítimas	0
6.2.1- Lagunas e cordões litorais	0
6.2.2- Estuários	0
6.2.3- Mar e Oceano	0

Figura E.2. Classes de Ocupação do solo e respetivos valores do fator C, retirado de Pimenta, (1998).

Anexo F. Exemplo de um relatório de campo

Anexo F1: Preparação para Campanha de campo - 16 de Julho 2014.

Quantificação do caudal sólido por bacias de pequena dimensão

Praia das Bicas praia do rio da Prata

Objetivos:

- Observação e descrição das litologias e geomorfologia da área de estudo;
- Levantamento de superfície de elevada resolução através da tecnologia LiDAR terrestre;
- Recolha de perfis e medição com recurso ao DGPS em modo RTK;
- Medição das coordenadas do local de posicionamento do LIDAR terrestre e prisma de referência com recurso ao DGPS (Differential Global Positioning System), permitindo a georreferenciação posterior das nuvens de pontos;
- Recolha de amostras de areia com aproximadamente 200 gramas e medição das coordenadas relativas aos locais de amostragem.

Material:

- Bússola, lupa e canivete; livro de campo; martelo; máquina fotográfica.
- LiDAR Terrestre (TOPCON GLS 1500) e DGPS (LEICA Viva NetRover);
- Sacos para recolha de amostras; Caneta de acetado para referenciar;

Anexo F2: Relatório de campo da Campanha de Campo de 16 de Julho

Campanha de Campo praia das Bicas – praia do Rio da Prata

Enquadramento Geográfico

A área de estudo localiza-se nas arribas vivas do troço costeiro entre a Praia das Bicas e Praia do Rio da Prata, localizadas no litoral ocidental do concelho de Sesimbra com orientação aproximada NNE-SSW, mais precisamente a sul da lagoa de Albufeira e a norte do Cabo Espichel.

Objetivos da campanha:

- Observação e descrição das litologias e geomorfologia da área de estudo;
- Levantamento de superfície de elevada resolução através da tecnologia LiDAR terrestre;
- Recolha de perfis e medição com recurso ao DGPS em modo RTK.
- Medição das coordenadas do local de posicionamento do LIDAR terrestre e prisma de referência com recurso ao DGPS (Differential Global Positioning System), permitindo a georreferenciação posterior das nuvens de pontos;
- Recolha de amostras de areia com aproximadamente 200 gramas e medição das coordenadas relativas aos locais de amostragem;

Participantes

A tabela 1, refere-se à lista de participantes na campanha de campo realizada no dia 16 de Julho, 2014.

Participantes
Ana Bastos
João Calvão
João Dias
Mafalda Carapuço
Rui Taborda

Tabela F1.

Participantes na campanha

Tarefas realizadas

DGPS

Realizou-se um perfil de praia com recurso ao DGPS em modo RTK em frente à bacia de pequena dimensão na praia das Bicas.

A realização de perfis de praia consiste numa permite a definição da evolução do sistema de praia ao longo do tempo de estudo.

Recolha de amostras

Foram recolhidas várias amostras para posterior tratamento em laboratório possibilitando o estudo das características granulométricas das amostras recolhidas nas arribas e na berma e face de praia.

Levantamento com LiDAR terrestre

Levantamento de superfície com recurso ao equipamento de elevada resolução e precisão o LiDAR terrestre possibilitando o levantamento em dois locais: numa pequena bacia da praia das Bicas e numa arriba arenosa com pequenas bacias de drenagem na praia do rio da Prata.